

Развитие конструкций и перспективы автоматических трансмиссий

03, март 2014

DOI: 10.7463/0314.0702931

д.т.н. Гируцкий О. И.¹, д.т.н. Тарасик В. П.², д.т.н. Рынкевич С. А.²

УДК 629.3

¹Россия, ФГУП "НАМИ"

²Республика Беларусь, г. Могилев, Белорусско-Российский университет

giruzki@nami.ru

rynkev@tut.by

1 Развитие конструкций систем управления трансмиссиями

На современном этапе развития транспортной техники происходит быстрая смена выпускаемых моделей при интенсификации процессов модификации мобильных машин, возрастании числа новых разработок, что обеспечивает автомобилям более высокие потребительские качества и конкурентоспособность на рынках сбыта. Автоматизация управления трансмиссиями автомобилей является важной задачей. Это способствует увеличению срока службы двигателя и трансмиссии, повышению проходимости и комфортабельности за счет более плавного изменения момента на ведущих колесах, трогания с места и разгона, увеличивает производительность выполнения транспортных работ.

В связи с этим, в данной статье проанализированы перспективные схемы вальных и планетарных коробок передач ведущих фирм в области мирового автомобилестроения, показаны преимущества автоматизированных трансмиссий. Предложены перспективы создания систем управления трансмиссиями на основе методов искусственного интеллекта.

В зависимости от исполнительных элементов трансформации энергии различают механические, гидромеханические, гидрообъемно-механические и электромеханические трансмиссии.

Механические трансмиссии, содержащие в своем составе механическую ступенчатую коробку передач и фрикционное сцепление, получили широкое распространение на автомобилях. Основные их

преимущества – простота конструкции; низкая стоимость; высокий КПД; достаточно высокая надежность и долговечность; минимальный объем технического обслуживания и простота ремонта механизмов. Основные недостатки механических трансмиссий – невозможность полного использования мощности двигателя; ступенчатость преобразования параметров потока энергии; необходимость в наличии большого числа ступеней коробки передач; сложность автоматизации управления переключениями передач. Эти недостатки диктуют необходимость совершенствования их конструкций и стимулируют процессы автоматизации.

Требования к механическим трансмиссиям определяются их функциональным назначением и необходимостью достижения высокого технического уровня. Они формируются на основе декомпозиции системы показателей качества проектируемого автомобиля. К таким показателям относятся показатели назначения: функциональные (обеспечение номинальных мощности и частоты вращения на входном валу, необходимого диапазона передаточных чисел коробки передач), конструктивные (масса, габаритные размеры, приспособленность к автоматизации и диагностированию) и эффективности (КПД коробки передач), надежности (ресурс до капитального ремонта, наработка на отказ), стандартизации и унификации, экономические (удельная масса и материалоемкость), эргономические (высокое качество процесса переключения передач, уровень шума коробки передач, малые усилия на органах управления) и экологические (степень отрицательного воздействия на внешнюю среду). Требования исходя из показателей безопасности: исключение одновременного включения нескольких ступеней, случайного включения реверсивных ступеней, исключение самопроизвольного включения или выключения ступеней.

Применение гидромеханических трансмиссий на современных автомобилях позволяет снизить динамические нагрузки, значительно упростить и облегчить управление, повысить плавность движения автомобиля, особенно при трогании с места и разгоне, а также при резких изменениях сопротивления движению. В состав таких трансмиссий входит гидромеханическая передача (ГМП) и традиционные механизмы механической трансмиссии – главная передача, раздаточная коробка, межосевые и межколесные дифференциалы, карданные передачи и др.

Основными элементами ГМП, обеспечивающими преобразование потока энергии, являются гидродинамический трансформатор (ГДТ) и ступенчатая механическая коробка передач.

К ГМП предъявляется ряд требований: обеспечение широкого диапазона регулирования вращающего момента и угловой скорости, в пределах которого КПД передачи не ниже 0,75...0,80; обеспечение высокой средней скорости машины в различных условиях движения; предохранение двигателя и трансмиссии от динамических нагрузок; минимальная трудоемкость технического

обслуживания; технологичность конструкции; приспособленность к серийному производству, автоматизации и диагностированию; обеспечение стандартизации и унификации.

Показатели эффективности автомобиля с ГМТ во многом определяются совершенством систем управления ГМП. Система управления ГМП предназначена для осуществления переключения ступеней коробки передач и блокирования ГДТ.

Гидрообъемная механическая трансмиссия состоит из гидрообъемной передачи (ГОП) и ряда механизмов механической передачи. Достоинства такой трансмиссии: бесступенчатое плавное изменение скоростей в широком диапазоне эксплуатационных режимов, возможность длительной и устойчивой работы под нагрузкой на малых скоростях, простота управления, удобство автоматизации, возможность реверсирования движения и торможения без применения специальных устройств. Основные недостатки – относительно малый срок службы гидромашин и высокая стоимость. ГОП состоит из регулируемого гидронасоса, преобразующего механическую энергию в энергию потока жидкости, и одного или нескольких гидродвигателей, обеспечивающих обратное преобразование энергии потока жидкости в механическую энергию.

В зависимости от расположения механизмов ГОП, их типа и числа возможны две схемы таких трансмиссий: моноблочная и с отдельным расположением механизмов. В первой схеме ГОП выполняет функции коробки передач и сцепления, но в трансмиссии сохраняются все остальные механизмы механической трансмиссии: главная передача, дифференциал, колесные передачи, карданные передачи. Во второй схеме элементы ГОП расположены отдельно: насос соединен с двигателем, а гидромоторы через механические передачи – с колесами. Все остальные механизмы, характерные для механической трансмиссии, исключаются. Гидромоторы могут устанавливаться как вне колеса, так и встраиваться в колесо (гидромотор-колесо). Трансмиссии, выполненные по данной схеме, имеют хорошие компоновочные возможности и широко применяются для многоприводных машин, автопоездов высокой проходимости и специализированных автомобилей.

Электромеханическая трансмиссия состоит из электрической и механической передач. В таких трансмиссиях электрическая энергия вырабатывается генератором, который приводится во вращение двигателем. Трансмиссии такого типа выполняют по двум схемам: группового или индивидуального привода ведущих колес. В первой схеме вращающий момент от одного электродвигателя через механическую передачу передается на несколько колес. В этом случае электрическая передача заменяет лишь коробку передач и сцепление. Во второй схеме момент на каждое колесо передается от отдельного электродвигателя через механическую передачу. Колесо, электродвигатель, редуктор и другие элементы конструктивно объединяются в один механизм – электромотор-колесо. Для автомобилей различного

назначения преимущественно используют электромеханическую трансмиссию с индивидуальным приводом к мотор-колесам. Такие трансмиссии применяются на автомобилях-самосвалах грузоподъемностью свыше 70 т, автомобилях и автопоездах высокой проходимости, автобусах особо большой вместимости.

Преимущества электромеханических трансмиссий, помимо бесступенчатости регулирования параметров потока энергии, следующие: малые потери при передаче энергии от генератора к автономным электродвигателям, расположенным в ведущих колесах (электромотор-колесах), легкость и простота управления (одна педаль), возможность реверсирования и торможения, гиперболический характер изменения момента электродвигателя, широкий диапазон регулирования передаточных чисел. Другие преимущества проявляются в зависимости от типа автомобилей: в самосвалах улучшается компоновка и появляется возможность реализации большой мощности; в автомобилях и автопоездах большой проходимости обеспечивается свободный выбор колесной формулы и простота общей компоновки, существенное повышение проходимости за счет увеличения числа ведущих колес; в автобусах появляется возможность создавать сочлененные автобусы особо большой вместимости с высокими показателями скоростных свойств и топливной экономичности, улучшается планировка и снижается уровень пола пассажирского салона. Недостатки – высокая материалоемкость, сравнительно низкий КПД, высокая стоимость изготовления из-за дороговизны применяемых материалов (меди, драгоценных металлов для контактов), возможность травматизма и пожарная опасность.

Коробки передач в трансмиссиях выполняются вальными и планетарными, соосными и несоосными. По типу организации процесса переключения передач они делятся на коробки передач с переключением под нагрузкой и без нагрузки. Коробки передач с переключением под нагрузкой имеют автономные фрикционные элементы. В коробках передач с переключением без нагрузки используются синхронизаторы и зубчатые муфты. В них в процессе переключения ступеней нужно осуществлять синхронизацию угловых скоростей ведущих и ведомых элементов, поскольку синхронизаторы не рассчитаны на передачу большого момента. Этот недостаток привел к развитию второго направления в организации процесса переключения ступеней – центральной синхронизации.

В ГМП, в отличие от механических трансмиссий, отсутствует сцепление, поэтому каждая ступень ее коробки передач должна быть снабжена автономным элементом переключения. Переключение ступеней в современных ГМП осуществляется фрикционными элементами. Эти элементы хорошо приспособлены к автоматизации, что является их существенным преимуществом по сравнению с другими типами элементов и открывает большие возможности для создания различных конструкций систем управления ГМП. Однако применение ГМП наиболее эффективно при снабжении ее автоматическим управлением.

Для того, чтобы автоматизировать ГМП, они должны быть приспособлены к этому. Исторически процесс приспособления конструкций ГМП к автоматизации развивался сравнительно быстро. Появление классической планетарной коробки передач Вильсона, переход к системам управления включением ступеней в коробках передач с помощью фрикционных муфт создало хорошие предпосылки для автоматизации. Применение многодисковых фрикционных муфт и тормозов с гидроприводом управления вместо зубчатых муфт и подвижных кареток для переключения ступеней в коробках передач значительно продвинуло решение проблемы автоматизации. Автоматизация механических трансмиссий по сравнению с гидромеханическими оказалась более трудной проблемой, хотя и вполне разрешимой. При создании конструкций систем управления механическими трансмиссиями основной проблемой явилось обеспечение одновременного управления двигателем, сцеплением, синхронизаторами. Отдельные механизмы автомобилей обладают внутренней автоматичностью и не нуждаются в управляющих устройствах (самоблокирующиеся дифференциалы, муфты свободного хода, ГДТ).

Система автоматического управления (САУ) помимо объекта управления включает в себя управляющие устройства, к которым относятся избиратель режимов и различные элементы автоматики (чувствительные элементы, преобразователи, формирователи, усилители, регуляторы, элементы сравнения, корректирующие элементы, исполнительные элементы и т.д.).

В зависимости от количества используемых информационных переменных система может быть однокоординатной, двухкоординатной и многокоординатной. Однокоординатные системы применяются в системах автоматического блокирования ГДТ. В системах управления переключением передач используют не менее двух информационных переменных, характеризующих скоростной и нагрузочный режимы двигателя и трансмиссии.

Нагрузка двигателя оценивалась косвенно путем измерения положения педали акселератора. Для этого использовались электрические датчики реостатного или угольного типов. Скоростной режим движения автомобиля оценивался посредством датчика угловой скорости выходного вала ГМП, так как его скорость пропорциональна скорости автомобиля. В качестве датчиков скорости использовались центробежные гидромеханические датчики и трубки Пито. Чувствительный элемент гидромеханического датчика выполнялся в виде золотникового клапана, снабженного неуравновешенным грузом, центробежная сила которого при вращении выходного вала ГМП уравнивается силой давления масла на золотник. В результате давление изменяется по квадратичной зависимости от скорости автомобиля. Аналогичную характеристику имеют и датчик скорости, выполненный в виде трубки Пито. Гидромеханические центробежные датчики широко применялись в ГМП легковых автомобилей. Датчик скорости в виде трубки Пито использовался в системах блокирования ГДТ в конструкциях ГМП фирмы «Allison» для измерения скорости вращения турбинного вала ГДТ. Недостатком этих систем была их однорежимность, т.е.

невозможность учета нагрузочного режима двигателя. Использование двух трубок Пито, установленных на насосном и турбинном валу ГДТ, позволило блокировать ГДТ в зависимости от скорости и нагрузки двигателя. Данное техническое решение применялось на автосамосвалах БелАЗ с 1970 г. Позже, при переходе к САУ энергетическими режимами, трубки Пито устанавливались также и на выходном валу коробки передач. В дальнейшем в связи с развитием электроники был осуществлен переход на более совершенные датчики скорости (магнитоиндукционные).

Применение двухкоординатных САУ ГМП не позволяло учитывать всего многообразия условий работы автомобиля, что снижало показатели его эффективности. Высокие показатели эффективности можно получить лишь с адаптивной системой управления. Но для этого необходимо получать и оценивать большой объем информации о процессах функционирования двигателя и ГМП, условиях и режимах движения автомобиля, воздействиях внешней среды и управляющих воздействиях водителя. Но электрогидравлические системы управления, применяемые в ГМП до 80-х годов XX столетия, не позволяли этого сделать. Поэтому использовались в основном двухкоординатные системы управления.

Переход к микропроцессорным системам позволил обрабатывать большое количество информации. Появилась возможность создания многокоординатных (многомерных) систем, а в дальнейшем – адаптивных систем управления, обладающих высокой приспособляемостью к изменению различных факторов.

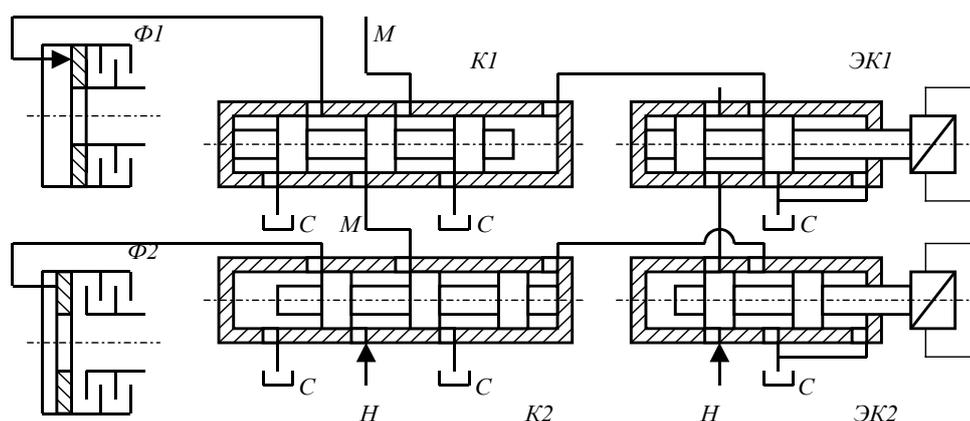
Система управления может быть двухканальной либо многоканальной. В двухканальной системе один канал служит для переключения на высшие передачи, а другой – для переключения на низшие передачи. При многоканальном построении для включения каждой ступени предназначен определенный канал управления. Применение компьютеров при автоматизации ГМП позволяет создавать надежные электрогидравлические системы, выполненные как по двухканальному, так и по многоканальному принципу.

Для задания команд исполнительным механизмам на включение передачи используют избиратели режимов. Избиратель – это комбинированный исполнительный механизм, включающий устройства формирования сигнала, которые задают управляющий сигнал, и исполнительные устройства, которые этот сигнал обрабатывают. В качестве последних используются серводвигатели: гидро- и пневмоцилиндры, гидро- и пневмомоторы, поворотные двигатели. Избиратели бывают механическими, гидравлическими, электрическими, электрогидравлическими, электропневматическими, электромеханическими. Механические устройства представляют собой систему, состоящую из установленного в кабине рычага и связанных с ним элементов, воздействующих на исполнительные механизмы коробки передач.

Гидравлические устройства могут быть многопозиционными золотниковыми или крановыми. Основными элементами электрических устройств являются электромагниты или электрические реле, установленные в цепи управления приводом. Электрогидравлические (электропневматические) устройства сочетают в себе электрические и гидравлические (пневматические) элементы. В электромеханических устройствах электрический командный сигнал на включение передачи посредством электромагнита преобразуется в возвратно-поступательное движение механического привода (тяги, вилки, каретки).

В ранних конструкциях ГМП («ЛАЗ-НАМИ», «Torqmatic» и др.) использовалось непосредственное воздействие электромагнитов на золотник, т.е. однокаскадное управление. Для получения большой мощности на выходе при высокой чувствительности и малой мощности сигнала управления стали применяться несколько последовательно соединенных элементов – так называемое многокаскадное управление. При двухкаскадном управлении электромагнит воздействует на промежуточный клапан, а последний – на исполнительный элемент. Двухкаскадное управление явилось прогрессивным техническим решением и оказалось весьма эффективным в системах гидроавтоматики. Уменьшение размеров реле автоматического переключения сказалось на характеристиках автоматических систем: повысилась их точность, чувствительность и стабильность.

В системах управления ГМП отечественных автомобилей впервые двухкаскадное управление было применено на одноосных тягачах БелАЗ-531 в 1962 г. На рисунке 1 показан фрагмент этой системы управления, в которой применены так называемые пилотные клапаны и реализован многокаскадный принцип построения системы.



К1, К2 – клапаны автоматического переключения передач; ЭК1, ЭК2 – электрогидравлические клапаны; Ф1, Ф2 – фрикционы переключения передач; Н – нагнетание; С – слив; М – управляющие магистрали

Рис. 1. Применение пилотных клапанов в САУ ГМП

В качестве исполнительных элементов САУ, непосредственно осуществляющих переключение ступеней в коробке передач, используются фрикционные муфты и синхронизаторы. Использование фрикционных муфт наиболее предпочтительно, т.к. не требует сложной системы синхронизации параметров потока энергии при передаче момента.

Для повышения качества переходных процессов при переключениях передач в ГМП используются устройства плавного регулирования давления в гидроцилиндрах фрикционов.

Ключевой датой в истории автоматизации ГМП считается 1904 год, когда была запатентована первая двухступенчатая автоматическая коробка передач с муфтами свободного хода. В 1915 г. в шестеренчатых коробках передач был применен механизм полуавтоматического управления, когда часть операций выполнялась человеком, а часть – автоматическими устройствами. Такое устройство определяло номер передачи, на которую следует переключиться, а сам процесс переключения осуществлял водитель. В 30-е годы появились преселекторные системы управления. Это – разновидность полуавтоматических систем, в которых предварительно осуществляются поиск оптимального режима и необходимая подготовка к процессу управления, а выбор окончательного решения по управлению трансмиссией остается за человеком. Другой важной датой является 1937 год, когда концерн «General Motors» (США) освоил выпуск автоматических ГМП «Hydromatic». Конструкция состояла из планетарной коробки передач, обеспечивающей включение 4-х передач переднего и 1-й заднего хода, и была снабжена гидравлической САУ, фрикционным сцеплением и вспомогательной передачей. В 1939 году вместо сцепления была установлена гидродинамическая муфта. В последующие годы данный тип ГМП, состоящий уже из ГДТ, планетарной коробки передач и гидравлической САУ, вытеснил все другие виды автоматических трансмиссий и стал наиболее массовым.

Первые конструкции САУ для транспортных машин были гидравлическими. К ранним конструкциям гидравлических систем управления относятся полуавтоматические преселекторные гидравлические и вакуумные системы, которые использовались еще в 40-х годах на немецких гусеничных машинах. Преселекторные и полуавтоматические системы управления с различными комбинациями механических, пневматических, вакуумных и электрических элементов применялись в классической планетарной передаче Вильсон.

В середине XX века стремительными темпами начала развиваться автоматизация ГМП грузовых автомобилей малой, средней и большой грузоподъемности. В 1956 г. первая автоматическая ГМП, сконструированная для автомобилей средней и большой грузоподъемности, была внедрена в производство фирмой «Allison» концерна «General Motors». Конструкция включала в себя блокируемый ГДТ, планетарную коробку передач, гидрозамедлитель и устройства для отбора мощности. В 1969 г. фирма

«Allison» выпустила около 140 тысяч автоматических ГМП для гражданских и военных автомобилей полной массой 12–32 т. Наиболее известными конструкциями этой фирмы, предназначенными для грузовых автомобилей с дизельными двигателями мощностью 500–650 кВт, являются модели «CLBT-5960» и «CLBT-6060». Для автомобилей-самосвалов с двигателем мощностью 700–850 кВт фирмой разработана ГМП модели «DP-8660».

Многочисленные автоматические системы управления трансмиссиями автомобилей большой грузоподъемности были созданы в 70-х годах. Ведущим в разработке автоматических систем управления ГМП является концерн «General Motors Corp.», который создал ряд технических решений в области электрогидравлических САУ. Начало массового применения ГМП автомобилей большой грузоподъемности связано с семейством ГМП «Allison Torqmatic» этого концерна.

Семейство ГМП «Detroit Diesel Allison» состоит из автоматических ГМП серий АТ, МТ, НТ. ГМП серии АТ применяется для грузовых автомобилей с карбюраторными и дизельными двигателями мощностью до 175 кВт, а также для малых городских автобусов. Они состоят из ГДТ и 4-х ступенчатой коробки передач. При оснащении автоматическими ГМП самосвалов, спецавтомобилей, городских и магистральных автобусов с двигателями мощностью 185–200 кВт наибольшее распространение получила ГМП серии МТ (МТ-30, МТ-31, МТ-40, МТ-42). Она состоит из блокируемого ГДТ и коробки передач с четырьмя или пятью ступенями переднего хода и одной – заднего хода. ГМП серии НТ (4-х или 5-ступенчатой модификации) применяется для магистральных грузовых автомобилей, пожарных машин, магистральных автобусов, оснащенных дизельными двигателями мощностью до 320 кВт и газотурбинными двигателями мощностью до 300 кВт.

Большинство зарубежных моделей ГМП выполняется с шестиступенчатой планетарной коробкой передач (ПКП), имеющей плотный ряд передаточных чисел с показателем плотности q в пределах 1,35–1,40. Крупнейшими производителями ГМП являются зарубежные фирмы Zahnrad Fabrik (Германия) и Allison, входящая в концерн General Motors Corporation (США). Эти фирмы выпускают широкую номенклатуру типоразмеров ГМП на мощности от 50 до 1000–1500 кВт. Многие производители большегрузных карьерных самосвалов используют ГМП собственных разработок, например, фирмы Caterpillar (США), Komatsu (Япония). Белорусский автомобильный завод разработал и выпускает ГМП с планетарными коробками передач для карьерных самосвалов БелАЗ–75570 грузоподъемностью 90 тонн и БелАЗ–7516 грузоподъемностью 130 тонн.

На рисунке 2 приведены кинематические схемы ПКП Caterpillar (а), Allison (б) и БелАЗ–75570 (в). Все приведенные на этом рисунке кинематические схемы имеют одинаковую структуру и практически одинаковые параметры (передаточные числа). Планетарные коробки передач, выполненные по этим

схемам, состоят из базовой коробки передач и делителя, а их структура характеризуется тремя степенями свободы. Передаточные числа и включаемые фрикционы даны в таблице 1, а в таблице 2 – числа зубьев шестерен ПКП БелАЗ–75570.

Кинематические схемы базовых коробок передач рассматриваемых ПКП абсолютно одинаковые. Они обеспечивают три ступени передаточных чисел переднего хода и одну ступень – заднего хода. Фрикционы соответствующих ступеней базовых коробок передач обозначены $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_R$. Базовая коробка передач содержит три трансформаторных дифференциальных механизма (ТДМ) типа А, т.е. это простейшие трехзвенные дифференциальные механизмы, каждый из которых состоит из двух центральных зубчатых колес, водила и одновенцовых сателлитов. При этом одно из центральных колес – с внешним зубчатым венцом, а второе – с внутренним, поэтому кинематические параметры K_i всех ТДМ отрицательны.

Фрикционы Φ_1, Φ_2, Φ_R при включении соответствующих ступеней базовой коробки передач блокируют с корпусом центральное зубчатое колесо внутреннего зацепления, а фрикцион Φ_3 блокирует между собой элементы всех ТДМ и обеспечивает получение прямой передачи.

В схеме Caterpillar центральное колесо внешнего зацепления неподвижно (связано с корпусом ПКП), а центральное колесо внутреннего зацепления закреплено на входном валу ПКП.

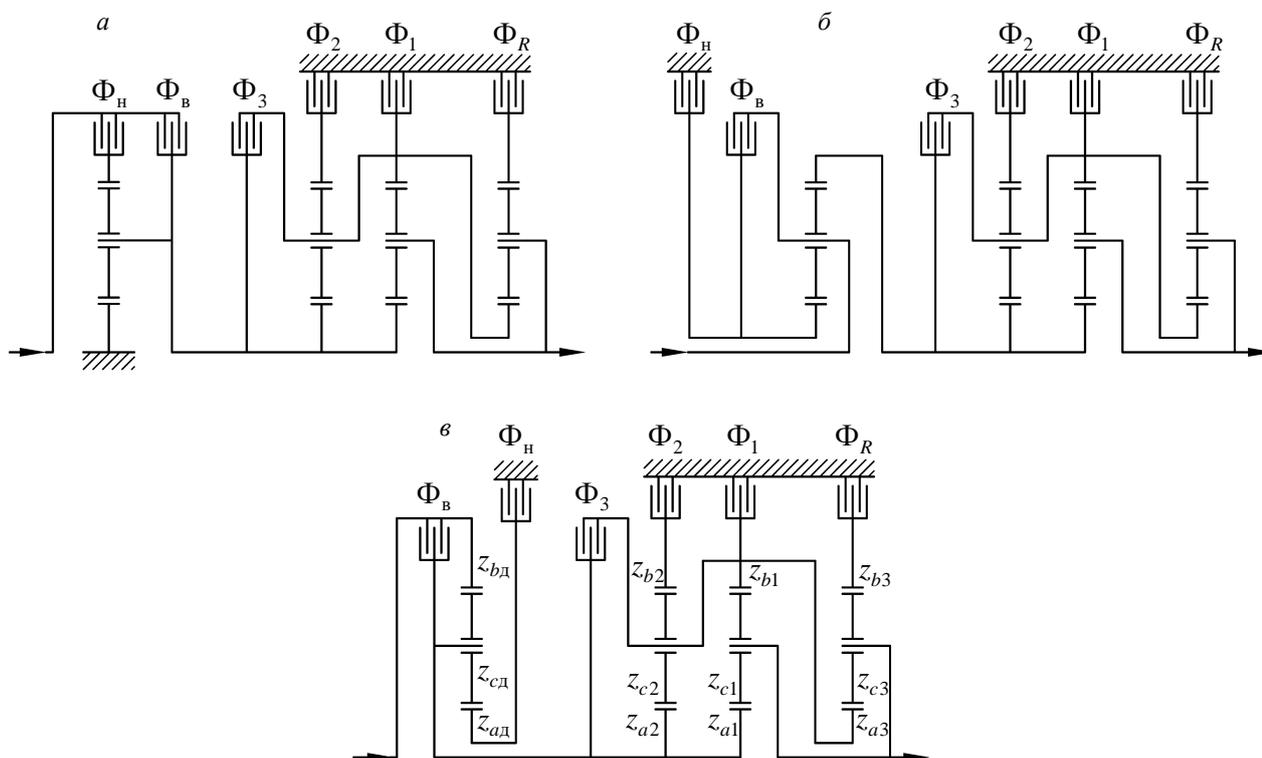


Рис. 2. Кинематические схемы планетарной коробки передач

Caterpillar (a), Allison (б), БелАЗ–75570 (в)

Таблица 1 – Включаемые фрикционы и передаточные числа ПКП

№ ступени	Включаемые фрикционы	Передаточное число			
		Caterpillar	Allison	БелАЗ–75570	БелАЗ–7516
1	$\Phi_1\Phi_H$	4,52	4,52	4,744	4,555
2	$\Phi_1\Phi_B$	3,35	3,35	3,448	3,351
3	$\Phi_2\Phi_H$	2,47	2,47	2,576	2,491
4	$\Phi_2\Phi_B$	1,83	1,83	1,872	1,832
5	$\Phi_3\Phi_H$	1,35	1,35	1,376	1,359
6	$\Phi_3\Phi_B$	1,0	1,0	1,0	1,0
R	$\Phi_R\Phi_H$	–4,99	–4,99	–5,054	–5,030

Таблица 2 – Числа зубьев шестерен ПКП БелАЗ–75570

Число зубьев шестерен												
Обозначение	z_{a1}	z_{b1}	z_{a2}	z_{b2}	z_{a3}	z_{b3}	$z_{ад}$	$z_{бд}$	z_{c1}	z_{c2}	z_{c3}	z_{cd}
Значение	29	71	44	84	36	74	35	93	21	20	19	29

Водило трансформаторного дифференциального механизма (ТДМ) делителя связано с входным валом базовой коробки передач (установлено на этом валу). Обе ступени делителя (низкая и высокая)

включаются фрикционными муфтами с вращающимися гидроцилиндрами. Ведущие части обоих фрикционов связаны с входным валом делителя, являющимся одновременно входным валом ПКП. Ведомая часть фрикциона Φ_H связана с центральным колесом ТДМ внутреннего зацепления, а при включении этого фрикциона энергия передается от входного вала через данное центральное колесо, сателлиты и водило на входной вал базовой коробки передач. На высокой ступени делителя фрикцион Φ_B связывает между собой входной вал делителя с входным валом базовой коробки передач, обеспечивая прямую передачу энергии между ними. Отмеченные особенности кинематической схемы ПКП Caterpillar создают определенные компоновочные преимущества, что можно видеть из рисунка 3. Недостатком конструкции ПКП Caterpillar является применение трех типоразмеров фрикционных дисков.

Кинематическая схема делителя ПКП Allison (рисунок 2, б) отличается от схемы Caterpillar расположением фрикционов и их типами. Здесь для управления включением низкой ступени вместо фрикциона с вращающимся гидроцилиндром применен фрикцион с неподвижным гидроцилиндром (фрикционный тормоз). Конструкция такого фрикциона проще, чем фрикциона с вращающимся гидроцилиндром, так как упрощается система подачи рабочей жидкости и обеспечивается более высокая герметичность гидромагистрали. Различаются также элементы, выполняющие роль входа и выхода делителя: входным элементом принято водило ТДМ, установленное на входном валу ПКП, а выходным – центральное колесо внутреннего зацепления, закрепленное на входном валу базовой коробки передач. При включении фрикциона Φ_H центральное колесо внешнего зацепления ТДМ делителя затормаживается, а передача энергии на низкой ступени делителя осуществляется через водило, сателлиты и центральное колесо внутреннего зацепления. Фрикцион Φ_B блокирует между собой водило и центральную шестерню внешнего зацепления и обеспечивает прямую передачу энергии без преобразования ее параметров.

Конструкция ГМП Allison представлена на рисунке 4.

Рассмотрим особенности кинематической схемы делителя ПКП ГМП карьерных самосвалов БелАЗ (см. рисунок 2, в). В этой схеме входной вал ПКП (вал турбины ГДТ) связан с центральным колесом ТДМ внутреннего зацепления, а его водило закреплено на входном валу базовой коробки передач. Включение низкой ступени осуществляется посредством фрикциона Φ_H с неподвижным гидроцилиндром, соединяющим центральное колесо ТДМ внешнего зацепления с корпусом ПКП. На высокой ступени делителя элементы ТДМ блокируются между собой посредством фрикциона Φ_B с вращающимся гидроцилиндром, соединяющего центральное колесо внутреннего зацепления с

водилом. Все механизмы ТДМ делителя при этом вращаются как одно целое и получается прямая передача.

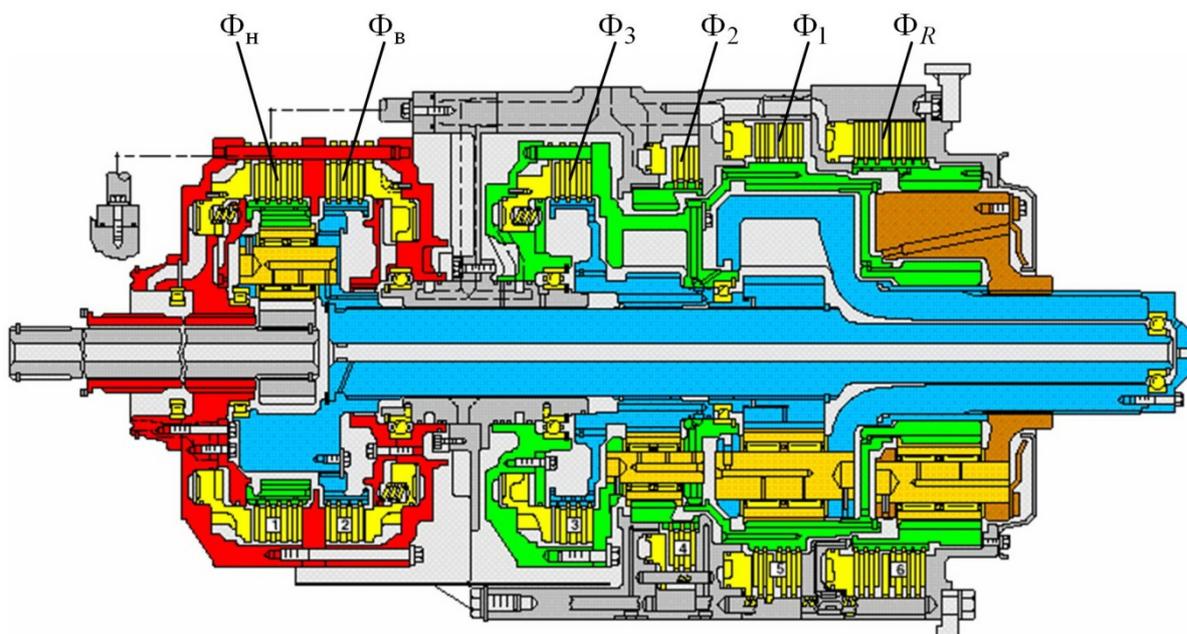


Рис. 3. Конструкция планетарной коробки передач Caterpillar

На рисунке 5 представлена конструкция ПКП гидромеханической передачи карьерного самосвала БелАЗ–75570 грузоподъемностью 90 тонн.

Механизмы делителя и базовой коробки передач расположены в отдельных отсеках корпуса, разделенных между собой перегородкой, в которой расположен гидроцилиндр фрикциона делителя Φ_H . Положительной особенностью конструкции данной ПКП является применение одного типоразмера фрикционных дисков для всех фрикционов. Это очень важное преимущество, так как фрикционные диски при эксплуатации подвергаются интенсивному износу и лимитируют межремонтный срок службы ГМП. Отметим также, что во фрикционе блокировки ГДТ применены те же диски, что и в остальных фрикционах. ПКП карьерного самосвала БелАЗ–75570 рассчитана на передачу мощности до 800 кВт при частоте вращения вала двигателя 2100 об/мин, масса ее составляет 2600 кг. На самосвале БелАЗ–7516 применен двигатель фирмы Cummins модели QSK–45 мощностью 1119 кВт при частоте вращения вала 1900 об/мин.

Передаточные числа всех представленных на рисунке 2 кинематических схем практически одинаковы и приведены в таблице 1. Там же указаны включаемые фрикционы на соответствующих ступенях ПКП. Анализируя эту таблицу, можно отметить, что показатель средней плотности ряда

передаточных чисел ПКП сравнительно небольшой ($q_{\text{ср}} = 1,35 - 1,37$), что позволяет обеспечить высокий уровень использования мощности двигателя и удовлетворительную топливную экономичность карьерного самосвала. Вместе с тем необходимо отметить существенный недостаток всех кинематических схем, представленных на рисунке 2. Он заключается в том, что при одновременной смене передаточных чисел делителя и базовой коробки передач приходится включать два новых фрикциона, выключая при этом два других, использованных на предыдущей ступени.

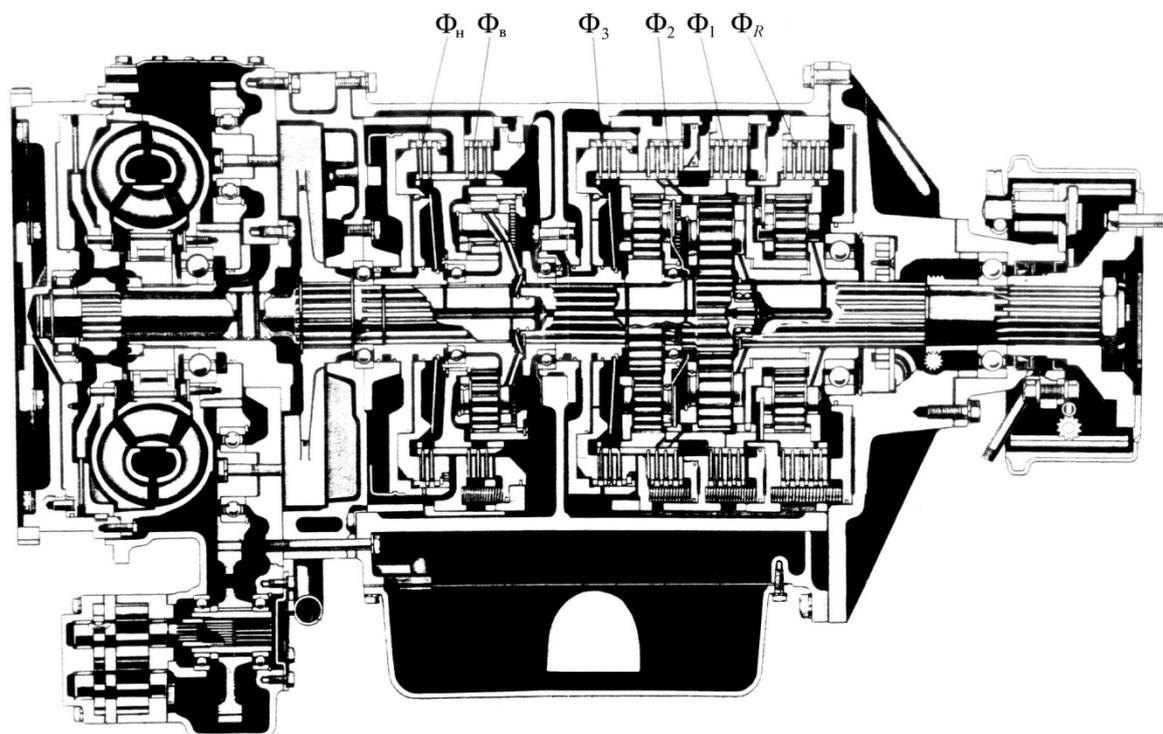


Рис. 4. Конструкция планетарной коробки передач Allison

История развития конструкций белорусских автоматизированных трансмиссий прослеживается на примере ГМП автосамосвалов, выпускаемых на созданном в 1958 г. заводе БелАЗ. В 1961 г. были разработаны первые машины этого завода: автосамосвал БелАЗ-540 и одноосный тягач БелАЗ-531. Модель БелАЗ-540 серийно выпускается с 1965 г. В 1962 г. создаются двухосный тягач БелАЗ-550 и автосамосвал БелАЗ-548 (серийный выпуск с 1967 г.).

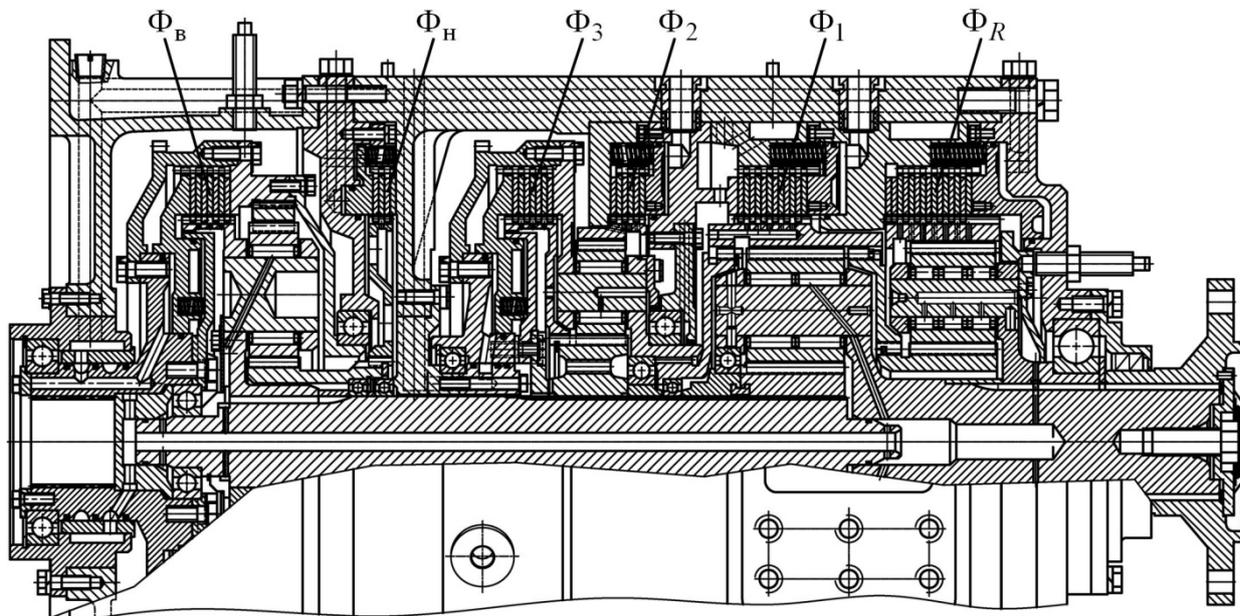


Рис. 5. Конструкция ПКП гидромеханической передачи карьерного самосвала БелАЗ–75570

Для всех этих машин в 1961 г. была создана ГМП 3+1, имеющая двухвальную коробку передач с двумя степенями свободы (все ступени включаются фрикционами, ГДТ неблокируемый). Система управления командная гидромеханическая. Избиратель включает два золотниковых распределителя с механическим приводом. На серийных машинах применен дистанционный механический привод. В конструкции предусмотрена защита от одновременного включения двух и более передач.

Созданная в 1962 г. ГМП 3+1 для одноосного тягача содержала командную электрогидравлическую двухкаскадную систему управления переключением передач (рисунок 1). Первый каскад включал электромагниты и пилотные гидравлические клапаны, второй – клапаны включения передач. Сквозное прохождение гидромагистралей через клапаны включения всех передач обеспечивает защиту от одновременного включения нескольких передач. Если при переключении передач золотник предыдущего клапана не выключен, то все равно будет включена только одна передача. Это легко проследить на рисунке 1. При одновременном включении электрогидравлических клапанов ЭК1 и ЭК2 срабатывают клапаны К1 и К2, предназначенные для включения разных передач. Однако клапан К2 перекроет канал включения клапана К1, соединяя со сливом гидроцилиндр фрикциона Φ1, а клапан К2 включит фрикцион Φ2.

В 1967 г. создается семейство унифицированных ГМП (УГМП) 5+2, 6+2, 4+4 для машин с двигателями мощностью 240–520 кВт. Первые образцы УГМП изготовлены в 1968 г. Опытные образцы самосвалов БелАЗ-7548 грузоподъемностью 42 т и БелАЗ-7540 грузоподъемностью 30 т, оснащенные этой ГМП, были выпущены в 1978 г. Серийный выпуск УГМП начался с 1980 г. Базовая модель УГМП имеет различные модификации.

В состав УГМП входит четырехвальная коробка передач с тремя степенями свободы, блокируемый ГДТ и гидродинамический тормоз-замедлитель. Автоматическое блокирование ГДТ производится по сравнению частот вращения колесного и турбинного колес. Система управления переключением передач электрогидравлическая двухкаскадная многоканальная с гидравлической защитой от одновременного включения двух и более передач. Предусмотрено обеспечение плавного включения фрикционов. Для этого гидравлические исполнительные цилиндры выполнены двухполостными. Малая полость обеспечивает быстрое перемещение поршня и сокращение времени включения до 0,2...0,3 с. При перемещении поршня большая полость заполняется воздухом, который после перемещения поршня сжимается подачей в нее жидкости из малой полости. В результате обеспечивается плавное нарастание усилия сжатия фрикционных дисков, снижение динамических нагрузок, плавное включение передач. Для повышения плавности включения передач главное давление регулируется в зависимости от соотношения угловых скоростей насосного и турбинного колес ГДТ, что косвенно характеризует момент на турбине. Информационные переменные системы – сигналы датчиков скорости насосного и турбинного колес ГДТ и выходного вала коробки передач. Предусмотрен ряд защитных функций: 1) защита от одновременного включения нескольких передач; 2) регулирование включения фрикционов в зависимости от режима работы ГДТ; 3) защита от включения реверса при скорости движения свыше 5 км/ч; 4) автоматическое блокирование ГДТ.

В 1984 г. автомобили БелАЗ-540А и БелАЗ-548А были модернизированы и воплотились в модели БелАЗ-7522 грузоподъемностью 30 т и БелАЗ-7523 грузоподъемностью 42 т. С 1987 г. осуществляется серийное производство автосамосвалов БелАЗ-7540 грузоподъемностью 30 т и БелАЗ-75231 грузоподъемностью 42 т с ГМП 5+2. В 1994 г. на заводе производится модернизация ГМП 5+2 и 6+2 для автомобилей БелАЗ-7555, оснащаемых двигателями ЯМЗ мощностью 537 кВт (БелАЗ-7555А), MTU мощностью 552 кВт (БелАЗ-75551) и «Cummins» (БелАЗ-7555В). ГМП включает 4-х вальную коробку передач с тремя степенями свободы, комплексный одноступенчатый четырехколесный блокируемый ГДТ и тормоз-замедлитель. Кинематическая схема ГМП остается такой же, как и в УГМП. В связи с увеличением мощности увеличено количество пар трения фрикционных муфт с 16 до 18 и увеличено номинальное давление рабочей жидкости с 1 до 1,3 МПа. Применена микропроцессорная САУ переключением передач и блокированием ГДТ с электрогидравлической двухкаскадной исполнительной системой.

В конструкции предусмотрены: 1) защита от одновременного включения нескольких передач; 2) защита от включения реверса при движении автомобиля вперед; 3) отсечка подачи топлива на время включения гидроцилиндра при переключении передач; 4) защита от включения высшей передачи при отпускании педали акселератора на спуске и торможении двигателем; 5) защита от включения с пульта управления первой передачи или реверса до тех пор, пока частота вращения выходного вала ГМП не

будет ниже 80 об/мин; 6) запрет включения передач, кроме первой и реверса, на непрогретой ГМП (до 30° С); 7) самодиагностика микропроцессора. Система управляет качеством процессов включения фрикционных муфт, обеспечивая: 1) плавность при переключении передач посредством двухполостного исполнительного гидроцилиндра со сжатием воздуха в большей полости; 2) плавность включения фрикциона блокировки ГДТ с помощью механизма плавного включения сливного типа с гидроаккумулятором; 3) плавность переключения передач путем отсечки подачи топлива.

Стремление повысить надежность систем управления АТС при одновременном обеспечении различных защитных функций привело к созданию гаммы электронных и электрогидравлических систем.

Примером служат системы управления, разработанные в 1980-х годах в Могилевской отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Системы управления тягово-транспортными машинами» (а.с. №№1565733, 1602772, 1682218, патент РФ №2000224). На рисунке 6 приведен фрагмент исполнительной части электрогидравлической САУ ГМП гусеничной машины по а.с. №№1689135, 1763257 и патенту РФ №2010734, разработанной в Могилевском машиностроительном институте, опытные образцы которой были созданы и внедрены на Минском тракторном заводе.

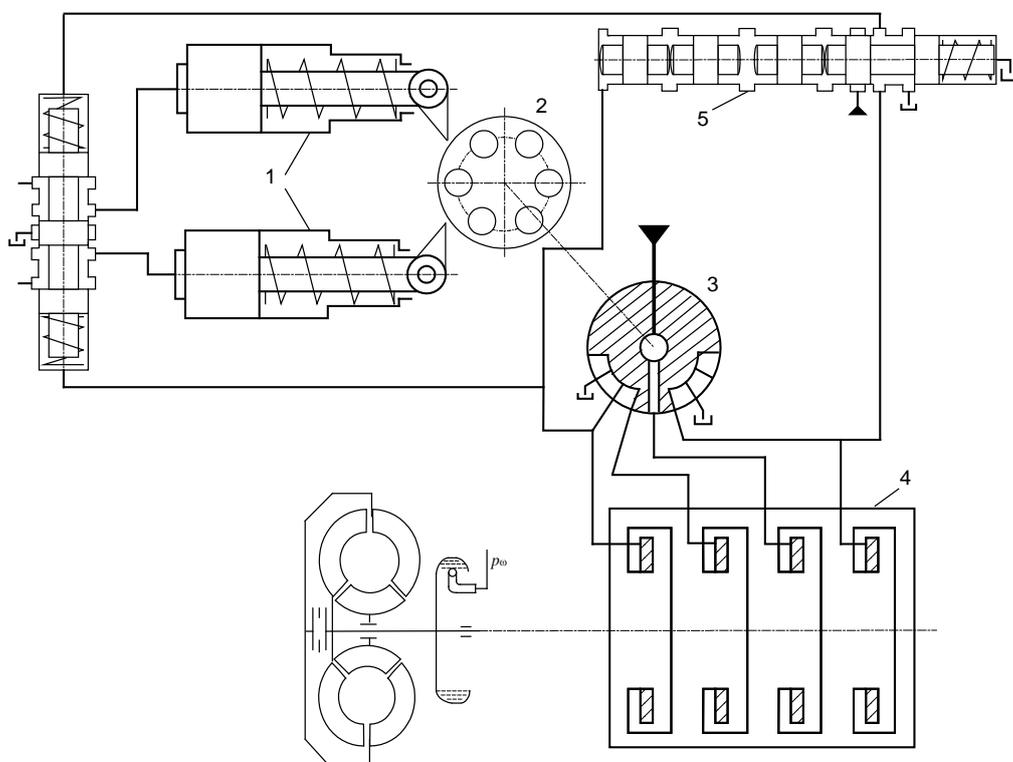


Рис. 6. Исполнительный механизм электрогидравлической САУ ГМП Минского тракторного завода

Система содержала ряд оригинальных технических решений. Для отработки управляющих сигналов гидроцилиндрами 1 высших и низших передач применялись поворотные исполнительные механизмы, которые выполнялись в виде цевочных 2 (как на рисунке 3) или храповых механизмов. Данные механизмы кинематически связаны с гидрораспределителем кранового типа 3, осуществляющим нагнетание рабочей жидкости в гидроцилиндры фрикционов переключения ступеней коробки передач 4. В результате обеспечиваются такие важные защитные функции, как надежное включение ступени и предотвращение одновременного включения двух и более ступеней. Недостатком является невозможность обеспечить включение ступеней с перекрытием. Этот недостаток, однако, устраняется путем применения специальных элементов, осуществляющих задержку включения. Для сигнализации включения крайних ступеней диапазона и предотвращения ложных срабатываний исполнительных механизмов при исчерпании возможностей данного диапазона конструкция снабжена элементом 5.

В качестве защитных элементов в электрогидравлических САУ применяются всевозможные устройства фильтрации ложных управляющих сигналов и задержки включений. Они выполняются, например, в виде реле времени.

2 Создание семейства автоматических гидромеханических передач для городских автобусов и автопогрузчиков

В институте НАМИ (г. Москва) был выполнен комплекс работ по созданию семейства 2-х, 3-х и 4-х ступенчатых гидромеханических передач (ГМП) для больших и особо больших городских автобусов.

Как правило, такие ГМП снабжаются гидрозамедлителями или имеют режим гидрозамедлителя в гидротрансформаторе.

Сразу же определились три основных направления в проектировании ГМП:

- однопоточные с последовательной передачей мощности от двигателя к гидротрансформатору, а затем к выходному валу через механический редуктор с несколькими механическими ступенями;
- двухпоточные с внешним разветвлением потока мощности, передаваемой по двум силовым ветвям: гидравлической (через гидротрансформатор) и механической;
- многопоточные с внутренним (т.е. в гидротрансформаторе) разделением потока мощности, позволяющем значительно увеличить максимальный коэффициент трансформации за счет использования более сложных по конструкции гидротрансформаторов.

Наиболее широкое распространение получили ГМП, выполненные по первому направлению, так как уже на начальном этапе развития ГМП было выяснено несомненное преимущество первого

направления как в отношении простоты конструкции, так и в отношении ее массы и стоимости. На этих принципах построено и семейство ГМП для автобусов, созданное в НАМИ. Кинематические схемы базовых моделей двух-, трех- и четырехступенчатых ГМП для городских автобусов показаны на рисунках 7,а, 7, б и 7, в.

Двухступенчатые ГМП [1] выполнены по вальной схеме и соответствуют конструктивному выполнению первого направления. Эти ГМП предназначены для установки на большие и средние городские автобусы ЛиАЗ-677 и ЛАЗ-698 с карбюраторным двигателем мощностью до 132,5 кВт и максимальным крутящим моментом 500 Н·м. На рисунке 7, а представлена конструкция ГМП, состоящая из гидротрансформатора и двухступенчатого механического редуктора.

Гидротрансформатор комплексный, 4-х колесный, колеса отлиты из алюминиевого сплава. Он имеет максимальный коэффициент трансформации $K_o=3-3,2$ и максимальный к.п.д. 87%. Предусмотрена блокировка гидротрансформатора фрикционом, с помощью которого крышка насосного колеса жестко соединяется с ведущим валом. Блокировка гидротрансформатора повышает экономичность и максимальную скорость автобуса. Механический редуктор двухступенчатый; имеет понижающую передачу (передаточное число 1,79) и прямую. Порядок включения ступеней фрикционных муфт, а также зубчатой муфты переднего и заднего хода видны из таблицы.

Сдвоенный фрикцион обеспечивает переключение передач без разрыва потока мощности. Он имеет по 6 металлокерамических дисков и по 5 стальных в каждой фрикционной муфте. На выступах стальных дисков приклепаны пластинчатые пружинки, которые разводят диски в выключенном состоянии. Это позволяет снизить потери мощности в выключенной фрикционной муфте. На наружном диаметре муфты расположены три периферийных клапана.

Гидропередача имеет единую масляную систему (рисунок 8), обеспечивающую управление фрикционами, подпитку гидротрансформатора и смазку всех необходимых узлов. Масляная система и система управления включает в себя следующие узлы: большой 22 и малый 23 масляные насосы, поддон 20 с маслоприемником 21, клапаны 2, 4, 15, 18, 26, 27, теплообменник 19, систему переключения периферийных золотников и систему автоматики.

Давление в системе управления ГМП создается двумя масляными насосами и на рабочих режимах передачи оно составляет 0,62-0,67 МПа.

Большой масляный насос приводится во вращение от насосного колеса гидротрансформатора. Малый насос - от промежуточного вала, имеющего постоянную связь с выходным валом. С помощью редукционного клапана 2 (рисунок 8) происходит отключение большого масляного насоса, когда малый масляный насос обеспечивает систему необходимым количеством масла при соответствующем давлении. Это необходимо для уменьшения потерь в гидropередаче на высоких скоростях движения.

Одной из особенностей ГМП является применение для наполнения и слива масла фрикционных муфт трех периферийных клапанов 15, которые управляются электромагнитами 14 и 16 с помощью поводка, перемещающего кольцо. Кольцо расположено на наружном диаметре корпуса муфты и связано с золотниками клапанов. Это существенно упростило систему управления и повысило надежность включения и выключения передач.

Система управления включает в себя также контроллер 11; центробежный 5 и силовой 6 регуляторы; главный золотник 4; выключатель 3 золотников периферийных клапанов; клапан заднего хода 10; пневматический цилиндр 7 включения заднего хода.

Контроллер имеет следующие положения: А - автоматическое переключение всех передач I-II-III+Бл; III - принудительное включение первой передачи; Н - нейтральное положение; З.Х. - передача заднего хода.

При включении на контроллере положения А включается 1-я передача, а дальнейшие переключения передач происходят на автоматическом режиме в зависимости от скорости движения автобуса и положения педали подачи топлива (нагрузки двигателя).

Датчиком скорости является центробежный регулятор 5. При увеличении скорости он начинает перемещать через рычаг главный золотник. Ось рычага выполнена эксцентричной валику, связанному с педалью управления дроссельной заслонки. Поворот этого валика также вызывает перемещение главного золотника. При этом главный золотник перемещается в зависимости от скорости движения автобуса (центробежный регулятор) и нагрузки двигателя (силовой регулятор 6). При определенной скорости главный золотник подает масло в канал выключателя 3 периферийных золотников, включая магнит II передачи. При дальнейшем перемещении главный золотник включает через клапан 26 блокировку гидротрансформатора.

Задний ход включается с помощью фрикциона понижающей передачи и зубчатой муфты. Муфта управляется с помощью пневматического клапана 10 цилиндра 7 (см. рисунок 8).

Схема гидropередачи и система ее управления обеспечивают переключение ступеней без прекращения передачи крутящего момента (без разрыва потока мощности). В гидropередаче предусмотрена возможность торможения автобуса двигателем, а также запуск двигателя буксировкой автобуса. Простота конструкции ГМП позволила организовать ее производство на Львовском автобусном заводе, не имевшем опыта изготовления узлов трансмиссий автомобиля. Таких ГМП выпущено более 400 тыс. шт.

В дальнейшем было разработано семейство трёхступенчатых гидромеханических трансмиссий [2], в котором все ступени: три передачи переднего хода, передача заднего хода и блокировка гидротрансформатора включались фрикционными муфтами (см. рисунок 7, б).

Семейство включало модификации передач для различных типов (карбюраторный, дизельный) двигателей и их мощностей, а также было снабжено приставным (не встроенным) гидрозамедлителем, что позволяло создавать гидротрансмиссии и для автопогрузчиков. При создании семейства был использован блочно-модульный принцип конструирования.

Указанные передачи были предназначены для больших и особо больших автобусов, с дизельными двигателями мощностью 117,8 – 191,4 кВт с крутящим моментом 550-900 н.м. (предусмотрена возможность увеличения мощности до 1100 н.м.) производимых в бывшем СССР и Венгрии, при этом производство самих передач также было организовано на кооперированной основе в этих странах.

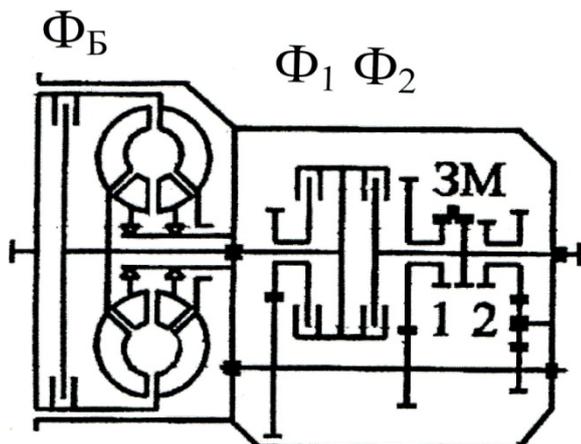
Для автоматического управления семейством ГМП автобусов создана и внедрена в серийное производство электронная система управления ГМП, содержащая комплекс устройств защиты от аварийных режимов движения автобуса при возникновении любых видов отказов в системе управления.

Кроме того, была разработана система дистанционного управления топливоподачей двигателя, которая позволяла обеспечивать управление топливоподачей по оптимальному закону в процессе переключения ступеней; при этом легко решаются компоновочные проблемы при отдаленном расположении двигателя от рабочего места водителя.

Дальнейшим развитием электронных систем управления ГМП является микропроцессорная (МП) система, которая, в зависимости от программы, записанной в ее постоянное перепрограммируемое запоминающее устройство, обеспечивает формирование различных алгоритмов управления ГМП.

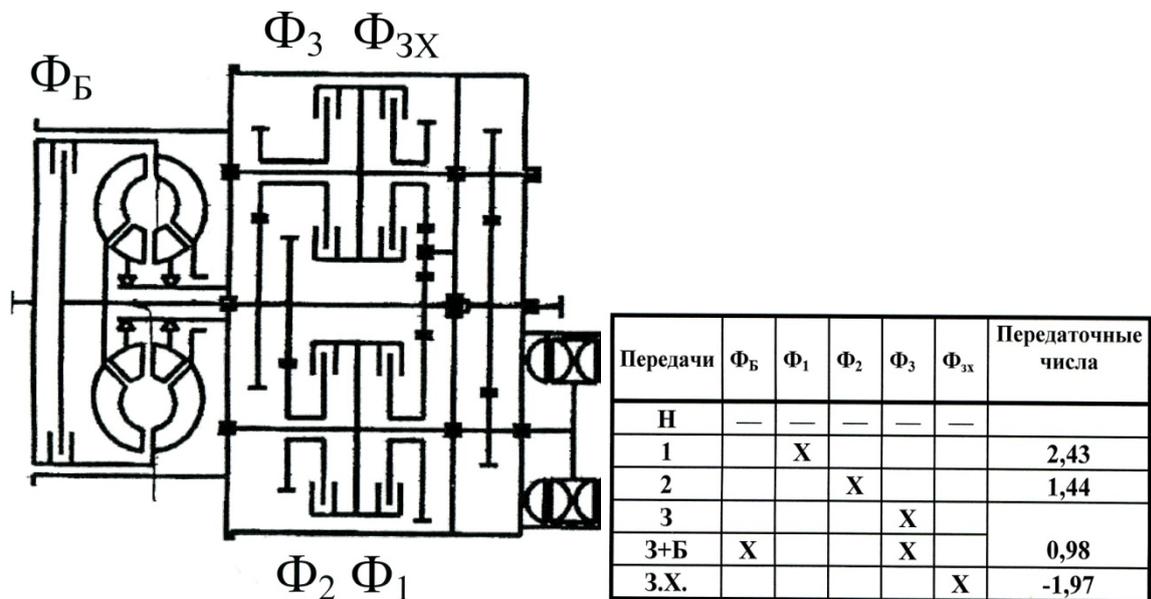
Микропроцессорные системы управления так же, как и электронные системы управления с «жесткой» логикой формируют команды переключения передач по одинаковому принципу, например, в зависимости от двух параметров: скорости движения автобуса и нагрузки двигателя. Наряду с этими МП, системы управления ГМП, помимо выполнения основного их назначения – формирования переключения передач по заданным законам, решают еще ряд дополнительных задач: регулирование давления в гидросистеме, выбор оптимального темпа включения фрикционов, диагностирование состояния узлов передачи и ее защита от аварийных режимов.

Подобная микропроцессорная схема управления была реализована в четырёхступенчатой планетарной ГМП (рисунок 7, в), последовательность включения ступеней в которой указана в таблице на рисунке. Почему была выбрана для нового семейства планетарная схема механического редуктора?

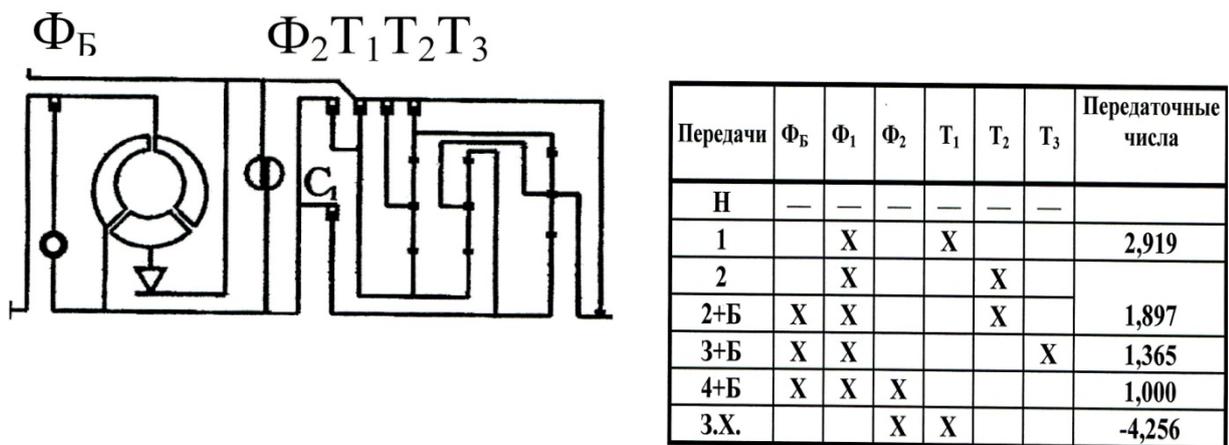


Передачи	Φ _Б	Φ ₁	Φ ₂	ЗМ		Передаточные числа
				1	2	
Н	—	—	—	X	—	
1		X		X		1,79
2			X	X		1,00
2+Б	X		X	X		
3.Х.		X			X	- 1,71

а) Двухступенчатая ГМП

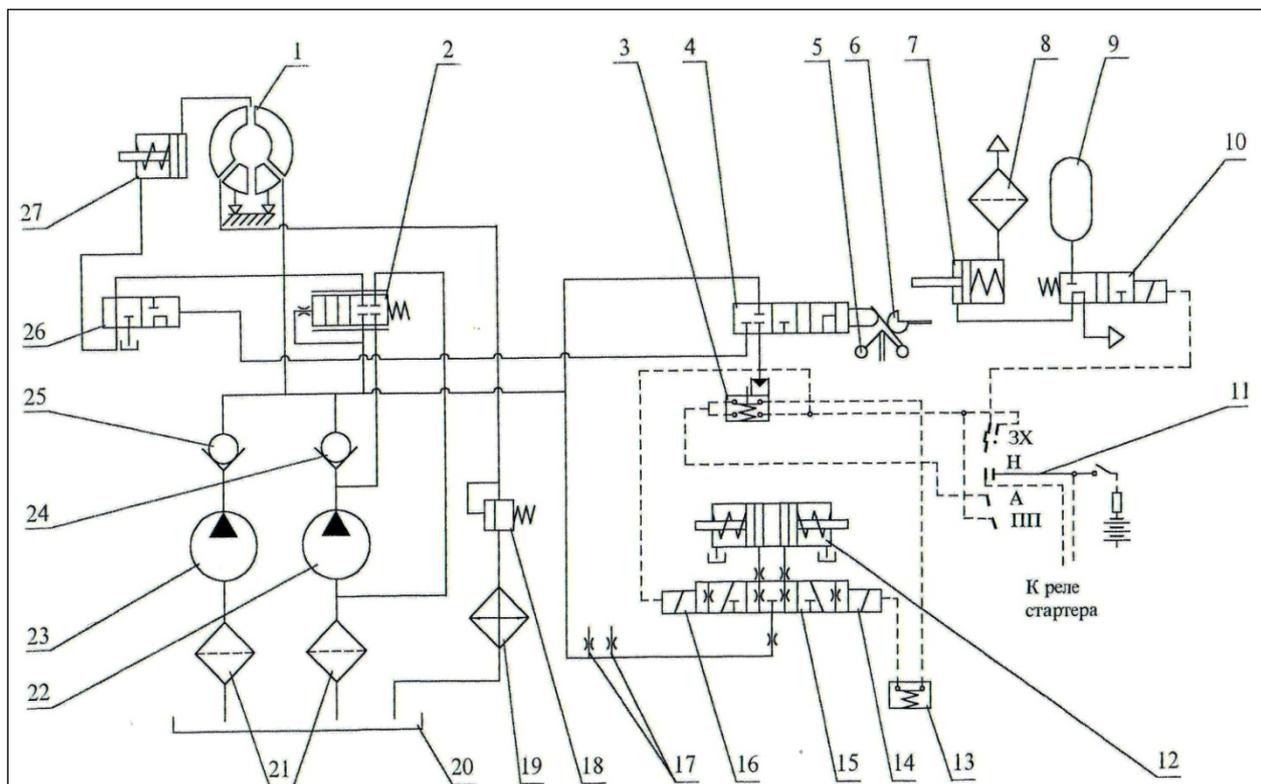


б) Трехступенчатая ГМП



в) Четырёхступенчатая ГМП

Рис. 7. Кинематические схемы базовых моделей двух-, трех- и четырехступенчатых ГМП для городских автобусов



1 Гидротрансформатор; 2 - редукционный клапан; 3 - включатель золотников периферийных клапанов; 4 - главный золотник; 5 - центробежный регулятор; 6, - силовой регулятор; 7 - пневмоцилиндр включения заднего хода; 8 - воздушный фильтр, 9 - ресивер; 10 - электропневмоклапан заднего хода; 11 - контроллер управления; 12 – двойной фрикцион; 13 - переключатель автоматической нейтрали; 14 -электромагнит прямой передачи; 15 - периферийный клапан; 16 - электромагнит понижающей передачи; 17 - каналы смазки; 18 - клапан слива; 19 - теплообменник; 20 - поддон; 21 – маслоприем; 22 -большой насос; 23 - малый насос; 24, 25 - шариковые клапаны насосов; 26 - клапан блокировки гидротрансформатора; 27 - фрикцион блокировки гидротрансформатора

Рис. 8. Схема маслопитания и управления двухступенчатой ГМП 695Ж2

Рост вместимости городских автобусов и все более возрастающая плотность уличного движения вызвали необходимость установки более мощных двигателей и увеличения силового диапазона трансмиссии. Требование дальнейшего улучшения тягово-скоростных свойств и

топливной экономичности автобусов с ГМП также диктовало необходимость создания семейства многоступенчатых ГМП нового поколения.

Анализ показывает, что основные параметры двух - трехступенчатых ГМП вального и планетарного типа близки между собой. При увеличении же числа ступеней до 4-5 и необходимости создания семейства трех - пятиступенчатых ГМП для автобусов с соосным расположением валов двигателя и кардана более рациональными, как показывает практика, являются ГМП с планетарным механическим редуктором. Это связано с кинематическими и конструктивными особенностями планетарных механизмов.

Любая многоступенчатая планетарная передача включает в себя несколько последовательно расположенных планетарных рядов, элементы которых определенным образом связаны между собой. Так, трехступенчатый планетарный редуктор включает в себя 2 планетарных ряда, четырехступенчатый – 3 планетарных ряда и т.д., т.е. добавляя к трехступенчатой передаче “блок” или “модуль” в виде дополнительного планетарного ряда (легко унифицированного с предыдущим): получаем + 1 ступень. Указанный “модульный” принцип позволяет достаточно просто создавать унифицированные между собой конструкции многоступенчатых планетарных редукторов ГМП (например, конструкции трех- и четырехступенчатых ГМП моделей W3D080 и W4D080 фирмы Mercedes-Benz).

Более того, при рационально выбранной кинематической схеме n – ступенчатого механического редуктора $n + 1$ ступ. редуктор может быть получен путем введения только одного фрикциона, дополнительно связывающего элементы планетарных рядов (например, введение в модификацию ГМП 4HP-500 фрикциона, связывающего входной вал одновременно с коронной шестерней 1-го планетарного ряда и водилом 2-го ряда приводит к пятиступенчатому варианту редуктора, т.е. к модификации 5HP-500).

К сожалению, в реальную практику отечественного автомобилестроения новое поколение 4-х ступенчатых планетарных ГМП с электронной микропроцессорной системой внедрено не было, но она стала заметным этапом в развитии конструкций и систем управления автоматических трансмиссий.

3 Создание перспективных систем управления трансмиссиями

Анализ работ, проводимых в нашей стране и за рубежом в области автоматизации управления АТС, показывает, что классическая теория автоматического управления не дает возможности учета всего разнообразия условий функционирования машины. В этой связи эффективность создаваемых

систем на ее научных принципах оказывается чаще всего ниже ожидаемой. Интеллектуальные системы управления (ИСУ) значительно облегчают труд оператора (водителя) и способны выполнять ряд интеллектуальных функций человека [3].

Автомобиль представляет собой сложную, иерархически организованную систему взаимодействующих элементов (подсистем). Эти элементы информационно связаны и целенаправленно функционируют. По своему функциональному назначению АТС как система охватывает ряд многозначимых взаимообусловленных аспектов: энергетический, устойчивости и управляемости, безопасности и надежности, виброзащиты и комфортабельности водителя и пассажиров, облегчения управления и труда водителя или оператора (информация и подсказки, ориентация на местности, навигация и выбор рациональных маршрутов движения, связь с внешним миром и т.д.). Каждый из этих аспектов занимает важное место и неразрывно связан с другими аспектами, хотя и имеет разную значимость.

Автомобиль функционирует в условиях внешней среды. Они чрезвычайно разнообразны и определяются параметрами дорожных, эксплуатационно-технических, природно-климатических характеристик, маршрутами и фазами движения, режимами нагружения, различными ситуациями, ограничениями и т.д. В этой связи очень важно, чтобы автомобиль был хорошо приспособлен к этой среде. Для этого необходимо одновременно управлять всеми подсистемами автомобиля. При этом важно учитывать поведение человека как элемента всей системы: непредсказуемость водителя при воздействии на органы управления АТС, его психофизическое и эмоциональное состояние, степень усталости, квалификацию и т.д. Естественно, что при автоматизации всей системы необходимо не только понимать логику водителя, но и осуществлять управление на качественно новом уровне, основанном на человекоподобных рассуждениях.

Субъект управления (человек-водитель) управляет скоростными режимами, задавая их исходя из внешних условий, контролирует безопасность движения, предотвращает аварийные ситуации, прогнозирует дорожную обстановку. При этом водитель располагает средствами управления всей системой. Ими являются следующие органы управления: педаль акселератора, которая задает режимы двигателя и скорость движения автомобиля; органы управления трансмиссией (рычаг переключения передач, педаль сцепления и др.) и органы управления тормозной системой (педаль тормоза, выключатель тормоза-замедлителя, рычаг стояночного тормоза). Учитывая огромную сложность управления подсистемами АТС, система обязательно должна быть *автоматизированной*, т.е. одна часть операций управления выполняться автоматическими устройствами, а другая часть – человеком. Автоматические устройства выполняют функции контроля и исправляют ошибочные действия водителя,

одновременно обеспечивая именно эффективное использование мощности двигателя исходя из задаваемых человеком режимов.

Из всего вышесказанного вытекает следующий вывод, что объектами управления энергетического аспекта являются механизмы и системы двигателя, трансмиссии и тормозной системы автомобиля. При этом необходимо в комплексе решать задачу управления скоростью движения транспортного средства при обеспечении наименьших затрат энергии (снижении расхода топлива и уменьшении потерь — тепловых, механических, гидравлических).

Коль скоро при автоматизации АТС нужно учитывать такое огромное количество факторов и принимать во внимание все рассмотренные выше обстоятельства, то решить эту проблему детерминированными, раз и навсегда принятыми алгоритмами управления, невозможно по нескольким причинам. Во-первых, если бы даже и удалось реализовать такие алгоритмы, все равно самое совершенное логическое устройство или самый современный процессор не сможет осуществлять управление системой в реальном режиме времени. Во-вторых, и это главное: данная проблема настолько сложна, что на сегодняшний день создать эффективную модель, учитывающую отмеченное многообразие всевозможных обстоятельств, просто невозможно.

Совершенно очевидно, что для решения этой проблемы необходимы новые подходы, пути и методы, отличные от классических. Эти пути и методы должны быть, во-первых, концептуально обоснованы, во-вторых, должны основываться на фундаментальных теоретических разработках и соответствующем математическом аппарате.

3.1 Новый подход: интеллектуализация процессов управления

Автоматизация управления – одно из наиболее перспективных направлений совершенствования конструкций автомобилей. Оптимальное управление позволяет существенно повысить показатели эффективности автомобилей и качество процессов функционирования их механизмов и систем, обеспечить высокий технический уровень и конкурентоспособность создаваемых мобильных машин.

Проектирование современных автомобилей, оснащенных автоматически управляемыми гидромеханическими трансмиссиями – задача достаточно сложная и трудоемкая. Она требует применения разнообразных технологий, использующих новые технические решения и научные принципы. При этом постоянно растет сумма знаний, необходимых для эффективного проектирования и эксплуатации автомобильных трансмиссий, что увеличивает интеллектуальную нагрузку на специалистов-проектировщиков и пользователей.

Анализ состояния проблемы автоматизации управления различными техническими объектами показывает, что классическая теория автоматического управления не дает возможности учета всего разнообразия условий функционирования автомобилей. В этой связи эффективность создаваемых систем на ее научных принципах оказывается чаще всего ниже ожидаемой.

В процессе движения автомобиля решаются сложные задачи управления, контроля и защиты трансмиссии и двигателя. При этом всегда имеют место непредсказуемые ситуации и возникают задачи управления, строгое математическое описание которых невозможно. Область реальной среды включает построения, которые не являются точными (четкими) по своей сути и поэтому не поддаются однозначному моделированию. В этой связи возникает необходимость в применении специальных методов представления и обработки знаний о воздействии реальной среды на объект управления и использовании их при построении алгоритма управления энергетическими режимами.

САУ как техническое устройство, обеспечивающее автоматизацию, должна включать компьютер нового поколения и объект управления – транспортное средство, управляемое человеком. При этом вся эта система иерархически взаимосвязана и объединена в единый блок. Она должна отслеживать состояние внешней среды и действия водителя и учитывать это в процессе управления энергетическими режимами автомобиля. При этом такая система должна непрерывно снимать много различной информации, куда входит информация о режимах работы и состоянии механизмов автомобилей, режимах движения, о внешней среде, поведении водителя и характере управляющего воздействия на органы управления. Для этого необходимо учитывать как можно больше информационных переменных, являющихся выходными параметрами управляемых системой механизмов. В этой связи множество информационных переменных, традиционно используемых ранее, необходимо расширить для того, чтобы они (эти переменные) несли дополнительную информацию о состоянии внешней среды, характере воздействия на объект управления со стороны водителя и многие другие данные. При этом возникает существенное противоречие. Увеличение количества информационных переменных, с одной стороны, открывает хорошие возможности для адаптации САУ энергетическими режимами к реальным условиям движения. С другой стороны, в этом случае возникают следующие недостатки.

Во-первых, система управления получается слишком сложной, что является весьма неудобным при практической реализации ее на объекте управления и снижает надежность.

Во-вторых, имитационное моделирование таких сложных объектов, необходимое на стадии синтеза алгоритмов, требует огромных затрат машинного времени. При этом невозможно учесть многие обстоятельства и особенности поведения объекта и его системы управления,

которые выходят за рамки жестких математических моделей. Существует и еще один аспект. Как известно, методика построения оптимальных характеристик управления объектом осуществляется на основе имитационного моделирования. Однако даже самая совершенная математическая модель машины предполагает неизбежные допущения и упрощения физических процессов, происходящих при движении реального автомобиля. Поэтому полученные с помощью модели характеристики управления автомобилем при практическом их использовании в САУ на самом деле не будут являться оптимальными и нуждаются в улучшении.

В-третьих, эти модели нельзя использовать в режиме реального времени, что позволило бы своевременно и адекватно отражать изменение внешней среды (при имитационном моделировании либо в реальных условиях эксплуатации машины).

Эту сложную проблему нельзя решать теми средствами, которыми мы располагали до сих пор. Это обусловлено тем, что здесь нет никакой однозначности, поэтому не может быть жестких и однозначных алгоритмов. Кроме того, система должна обязательно быть адаптивной, самонастраивающейся, самообучающейся. Отсюда вырисовывается проблема: нужно создать такую систему управления автомобилем, которая бы обладала отмеченными свойствами и при этом гарантировала разумное поведение, безопасность, исключала возможность ошибок, предотвращала аварийные ситуации и т.д. Путь решения этой проблемы – создание интеллектуальных систем. В этой связи автоматизация переходит на качественно новый уровень и органически воплощается в интеллектуализацию управления.

3.2 Интеллектуальные системы управления при автоматизации АТС как перспективное направление в науке и технике

Сейчас в мире активно развивается новое направление — освоение интеллектуальных систем управления и диагностирования (ИСУД) [3, 4]. Такие системы способны выполнять отдельные интеллектуальные функции человека. Без активного освоения современных методов создания ИСУД невозможно достижение соизмеримого с западными технологиями уровня в проектировании перспективных трансмиссий. В области создания мобильных машин подобные системы, помимо традиционных функций управления, контроля, защиты и диагностики, выполняют и дополнительные специфические функции, облегчающие интеллектуальный труд водителя: принятие быстрых и правильных решений в сложной обстановке, мгновенное реагирование на изменения внешних воздействий, непрерывный анализ и оценка текущих дорожных условий, прогнозирование и предотвращение экстремальных и непредвиденных ситуаций, выдача водителю советов и рекомендаций по оптимальному управлению транспортным средством и т.д.

В реальных условиях движения машины трудно настроить САУ, созданную в рамках классической теории, на реализацию оптимальных законов управления энергетическими режимами. На это оказывают влияние различные факторы, которые невозможно предусмотреть заранее и регламентировать в алгоритме управления. К ним можно отнести, например, флуктуации давления и утечки рабочей жидкости в гидросистеме управления, приводящие к запаздыванию отработки сигналов управления исполнительными механизмами. В результате этого переключения передач, блокировки и разблокировки гидродинамического трансформатора могут происходить чуть раньше или чуть позже, чем это запрограммировано, что снижает технико-экономические показатели машин.

3.3 Основные научные направления и уровни проектирования при создании перспективных ИСУ: концептуальный подход

Возникает вопрос: как же создавать конкурентоспособные и надежные САУ? В этом контексте можно задать еще ряд вопросов. Будут ли востребованы нашей автомобильной промышленностью отечественные интеллектуальные системы управления? Смогут ли отечественные алгоритмы управления конкурировать с западными? Не увеличится ли и без того огромный разрыв между уровнем отечественной автотранспортной техники и зарубежными образцами? При этом существует противоречие между довольно высоким научным и интеллектуальным потенциалом наших ученых, разработчиков, программистов и т.д. и сложившейся экономически неблагоприятной ситуацией, тормозящей продвижение вперед науки и техники.

В этой связи вырисовывается несколько направлений, которые могут исправить сложившуюся негативную ситуацию, что позволит оптимистически взглянуть в будущее развития отечественного автомобилестроения. Первое направление связано с увеличением степени интеллектуальности автоматизированных систем проектирования и управления в области автомобильных трансмиссий. Второе направление — совершенствование методов компьютерного моделирования и программирования. Третье — создание высокоэффективных алгоритмов управления с элементами интеллекта. Четвертое направление — разработка математического и программного обеспечения для этих алгоритмов. Комплексная реализация указанных направлений призвана обеспечить научно-техническую и интеллектуальную базу для проектирования высококлассных и конкурентоспособных систем управления автомобильными трансмиссиями.

Рассмотрим основные сферы использования и перераспределения знаний в интеллектуальных системах управления и диагностирования, а также уровни проектирования этих систем для ИСУД. Ниже приведена совокупность и последовательность всех процедур, которые необходимо осуществлять в процессе решения рассмотренных проблем [3].

Уровень научно-технического поиска и прогнозирования. Здесь на основе изучения потребностей общества, научно-технических достижений в предметной области (области проектирования машин) и смежных отраслях промышленности, обосновывается необходимость создания и формируется замысел ИСУД для автомобилей. При этом формируются информационные банки данных и знаний в предметной области (своего рода интеллектуальные информационные системы), проводится сбор текущей информации, ее анализ и прогнозирование тенденций развития ИСУ. Банк данных непрерывно пополняется новыми идеями и техническими решениями. Этот уровень характеризуется умственной творческой деятельностью человека и завершается разработкой концепций будущих ИСУД.

Уровень моделирования и исследований. Этот уровень предполагает создание высокоэффективных моделей объекта управления с использованием научных методов и алгоритмов исследований. В результате моделирования проводятся теоретические исследования, на основании которых делается прогноз в отношении построения ИСУД. Осуществляются управляемые эксперименты с моделью объекта управления и далее — оптимизация параметров и характеристик управления подсистем автомобилей.

Уровень проектирования мобильных машин. В процессе проектирования автомобилей и их подсистем используются инженерные методы, с помощью которых разработанные идеи, методы и алгоритмы воплощаются в реальные технические решения, принципиальные и компоновочные схемы ИСУД [4, 5, 6, 7]. На их основе создаются действующие образцы ИСУ (экспериментальные, макетные, опытные, серийные).

Уровень эксплуатации машин. Этот уровень соответствует технической эксплуатации объекта управления (например, автомобиля, оснащенного ИСУД), на котором осуществляется контроль, диагностика и обслуживание подсистем с применением специально разработанных методик и алгоритмов.

Уровень управления автомобилем. На этом уровне модель ИСУД (теоретическая, экспериментальная или в виде конкретного образца) адаптируется к реальным условиям эксплуатации объекта управления. Производится настройка (самонастройка) ИСУД на оптимальные характеристики управления. Совершенные системы, к тому же, имеют возможность адаптации параметров, структуры и алгоритмов [8, 9, 10, 11].

Уровень автоматизированного программирования с использованием интеллектуального интерфейса дает возможность организации общения с ИСУД на профессиональном естественном языке. Это позволяет непрограммирующему пользователю (например, водителю средней квалификации) создавать программы выполнения ИСУД операций по управлению, контролю,

диагностике и защите подсистем автомобиля при его эксплуатации. Возможно использование систем речевого ввода команд, а для ведения речевого диалога и восприятия человеческой речи — речевых анализаторов. На этом уровне можно обучать ИСУД определенным навыкам управления, поведению в нештатных и аварийных ситуациях. Совершенные модели ИСУД процесс обучения осуществляют самостоятельно (режим самообучения) [12, 13, 14].

Уровень автоматизированного синтеза алгоритмов управления позволяет автоматически синтезировать оптимальные алгоритмы управления автомобилем с возможностью их обучения и самообучения. Этот уровень можно назвать уровнем интеллектуального синтеза алгоритмов управления с элементами интеллекта [15, 16].

Разделение на данные уровни, естественно, носит условный характер. Уровни могут видоизменяться и дополняться новыми по мере совершенствования процессов интеллектуализации мобильных машин [17, 18, 19].

Реализация современной технологии проектирования ИСУД основана на использовании ряда научно-философских принципов. Важнейшими и наиболее общими из них являются принцип иерархичности, означающий структурирование представлений об объектах по степени детальности описаний, и принцип декомпозиции (блочности), означающий разбиение представлений каждого уровня на ряд составных частей (блоков) с возможностями отдельного (подблочного) проектирования.

Для того, чтобы в рамках разработанной концепции создавать ИСУД для автомобилей и синтезировать алгоритмы ее управления, необходимы современные научные теории, методы и подходы с качественно новым математическим аппаратом.

Список литературы

1. Баранов В.В., Гируцкий О.И., Дзядык М.Н., Есеновский-Лашков Ю.К., Мазалов Н. Д., Новоселецкий И. Г., Пыткин А. Ю. Гидромеханическая передача автобуса. М.: Транспорт, 1977. 132 с.
2. Баранов В.В., Гируцкий О.И., Дзядык М.Н., Есеновский-Лашков Ю.К., Пыткин А.Ю. Трехступенчатая гидромеханическая передача городского автобуса. М.: Транспорт, 1980. 152 с.
3. Тарасик В.П., Рынкевич С.А. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами. Минск: УП «Технопринт», 2004. 512 с.
4. Тарасик В.П., Рынкевич С.А. Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств. Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2007. 280 с.

5. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н.Н. Горбатенко, А.Н. Егоров, В.В. Региня, С.А. Рынкевич, В.П. Тарасик, Г.Л. Антипенко; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.П. Тарасика. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. 511 с.
6. Гируцкий О.И., Тарасик В.П. Создание электронных систем управления и диагностирования гидромеханических передач мобильных машин: этапы, пути и перспективы // Журнал ААИ. 2013. № 4. С. 18-23.
7. Нагайцев М.В., Гируцкий О.И. Проблемы развития транспорта для общественных перевозок // Труды НАМИ. 2012. Вып. 251. С. 5-25.
8. Yager R., Zadeh L.A. Fuzzy sets, neural networks, and soft computing. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1994. 404 p.
9. Terano T., Asai K., Sugeno V. Applied Fuzzy Systems. New York : AP Professional, 1994. 302 p.
10. Дентон Т. Автомобильная электроника / пер. с англ. В.М. Александрова. М.: НТ Пресс, 2008. 586 с.
11. Косенков А.А. Диагностика автоматических коробок передач и трансмиссий. Ростов н/Д: Феникс, 2003. 224 с.
12. Denton T. Automobile electrical and electronic systems. 2nd ed. Society of Automotive Engineers, Inc., 2000. 412 p.
13. Fenton B., McGinnity M., Maguire L. Fault diagnosis of electronic systems using artificial intelligence // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 2002. Vol. 5, no. 3. P. 16-20. DOI: [10.1109/MIM.2002.1028367](https://doi.org/10.1109/MIM.2002.1028367)
14. Fransman M. Japan Computer and Communications Industry. The Evolution of Industrial Giants and Global Competitiveness. Oxford University Press, 2005. 540 p.
15. Fukuda T., Ueyama T. Gelluar Robotics and Micro Robotic Systems. World Scientist, 2004. 267 p.
16. Jacobsen H.-A. A generic architecture for hybrid intelligent systems // The 1998 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Proceedings. Vol. 1. 1998. P. 709-714. DOI: [10.1109/FUZZY.1998.687575](https://doi.org/10.1109/FUZZY.1998.687575)
17. Jamaguchi J. Nissan Electronically controlled five-speed automatic transmission // Automot. Eng. 2001. No. 9. P. 59-60.
18. Herrmann C.S. A hybrid fuzzy-neural expert system for diagnosis // Proc. of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). Vol. 1. Canada, Montreal, 1995. P. 494-500.
19. Kato Yoshiaki. Advanced Component Technology of Automatic Transmission with Electro-hydraulic Controls // J. Soc. Automot. Eng. Jap. 1998. No. 8. P. 26-30.

The development of structures and the prospects of automatic transmissions

03, March 2014

DOI: **10.7463/0314.0702931**O.I. Girutskiy¹, V.P. Tarasic², S.A. Rynkevich²¹ Russia, Central scientific research automobile and automotive engine institute “NAMI”² Belarus, Mogilev, Belarusian-Russian Universitygiruzki@nami.rurynkev@tut.by

At the present stage development of transport technology has a rapid change of production models along with intensification of modification processes of vehicles, increasing number of new developments thereby providing vehicles with higher consumer qualities and competitiveness at the markets. Automation control of car transmissions is an important task. It raises the life of the engine and transmission, increased permeability and comfort due to a smoother change of torque to the drive wheels, driving off, and acceleration, etc.

The article analyzes the promising schemes rotary shaft and planetary gearboxes of leading companies in the world automotive industry, the advantages of automated transmissions. It offers the prospects of creating the control systems of transmissions based on artificial intelligence methods.

To design modern vehicles equipped with automatically controlled fluid transmission is a challenge. It requires various technologies to be applied using new technical solutions and scientific principles. An analysis to solve the problem of automation control of various technical objects shows that the classical theory of automatic control does not allow taking into account the diversity of vehicles operating conditions. In this regard, the effectiveness of the systems based on its scientific principles becomes often lower than expected.

Implementation of modern design technology is based on a number of scientific and philosophical principles. The most important and most common of them is the principle of hierarchy, which means to structure representations of objects by degree of detailed descriptions and the principle of decomposition (blocking), which means to decompose representations of each level on the number of components (blocks) with the possibility for the separate (sub-block) designing.

In order to create a design of control systems for the cars and synthesize its control algorithms within the framework of the developed concept, modern scientific theories, methods and approaches to qualitatively new mathematical apparatus are needed.

Publications with keywords: control system, car, automation, transmission, rotary shaft gearbox, planetary gearbox

Publications with words: control system, car, automation, transmission, rotary shaft gearbox, planetary gearbox

References

1. Baranov V.V., Girutskiy O.I., Dzyadyk M.N., Esenovskiy-Lashkov Yu.K., Mazalov N. D., Novoseletskiy I. G., Pytkin A. Yu. *Gidromekhanicheskaya peredacha avtobusa* [Hydromechanical bus transmission]. Moscow, Transport, 1977. 132 p. (in Russian).
2. Baranov V.V., Girutskiy O.I., Dzyadyk M.N., Esenovskiy-Lashkov Yu.K., Pytkin A.Yu. *Trehstupenchataya gidromekhanicheskaya peredacha gorodskogo avtobusa* [Three-mode hydromechanical transmission for city bus]. Moscow, Transport, 1980. 152 p. (in Russian).
3. Tarasik V.P., Rynkevich S.A. *Intellektual'nye sistemy upravleniya avtotransportnymi sredstvami* [Intelligent control systems of motor vehicles]. Minsk, UP "Tekhnoprint" Publ., 2004. 512 p. (in Russian).
4. Tarasik V.P., Rynkevich S.A. *Tekhnologii iskusstvennogo intellekta v diagnostirovanii avtotransportnykh sredstv* [Artificial intelligence technology in diagnosis of motor vehicles]. Mogilev, Belarusian-Russian University Publ., 2007. 280 p. (in Russian).
5. Gorbatenko N.N., Egorov A.N., Reginya V.V., Rynkevich S.A., Tarasik V.P., Antipenko G.L. *Diagnostirovanie gidromekhanicheskikh peredach mobil'nykh mashin* [Diagnosis of hydromechanical transmission of mobile machines]. Mogilev, Belarusian-Russian University Publ., 2010. 511 p. (in Russian).
6. Girutskiy O.I., Tarasik V.P. [Creation of electronic control systems and diagnosis of hydromechanical transmission of mobile machines: stages, paths and prospects]. *Zhurnal AAI*, 2013, no. 4, pp. 18-23. (in Russian).
7. Nagaytsev M.V., Girutskiy O.I. [Problems of development of transport for public transportations]. *Trudy NAMI*, 2012, iss. 251, pp. 5-25. (in Russian).
8. Yager R., Zadeh L.A. *Fuzzy sets, neural networks, and soft computing*. New York, Van Nostrand Reinhold Co., 1994. 404 p.
9. Terano T., Asai K., Sugeno V. *Applied Fuzzy Systems*. New York, AP Professional, 1994. 302 p.
10. Denton T. *Automobile Electrical and Electronic Systems*. Butterworth-Heinemann, 2004. 488 p. (Russ. ed.: Denton T. *Avtomobil'naya elektronika*. Moscow, NT Press, 2008. 586 p.).

11. Kosenkov A.A. *Diagnostika avtomaticheskikh korobok peredach i transmissiy* [Diagnosis automatic gearboxes and transmissions]. Rostov on Don, Feniks, 2003. 224 p. (in Russian).
12. Denton T. *Automobile electrical and electronic systems*. 2nd ed. Society of Automotive Engineers, Inc., 2000. 412 p.
13. Fenton B., McGinnity M., Maguire L. Fault diagnosis of electronic systems using artificial intelligence. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 2002, vol. 5, no. 3, pp. 16-20. DOI: [10.1109/MIM.2002.1028367](https://doi.org/10.1109/MIM.2002.1028367)
14. Fransman M. Japan Computer and Communications Industry. *The Evolution of Industrial Giants and Global Competitiveness*. Oxford University Press, 2005. 540 p.
15. Fukuda T., Ueyama T. *Gelluar Robotics and Micro Robotic Systems*. World Scientist, 2004. 267 p.
16. Jacobsen H.-A. A generic architecture for hybrid intelligent systems. *The 1998 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Proceedings. Vol. 1*. 1998, pp. 709-714. DOI: [10.1109/FUZZY.1998.687575](https://doi.org/10.1109/FUZZY.1998.687575)
17. Jamaguchi J. Nissan Electronically controlled five-speed automatic transmission. *Automot. Eng.*, 2001, no. 9, pp. 59-60.
18. Herrmann C.S. A hybrid fuzzy-neural expert system for diagnosis. *Proc. of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). Vol. 1*, Canada, Montreal, 1995, pp. 494-500.
19. Kato Yoshiaki. Advanced Component Technology of Automatic Transmission with Electro-hydraulic Controls. *J. Soc. Automot. Eng. Jap.*, 1998, no. 8, pp. 26-30.