

Л. Г. Красневский

СИНТЕЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТЫМИ ПЕРЕДАЧАМИ ТЯЖЕЛЫХ МАШИН

В настоящее время на тяжелых самоходных машинах широко применяются гидромеханические (ГМП) и механические многоступенчатые передачи, в которых переключение ступеней осуществляется с помощью управляемых гидроцилиндрами многодисковых фрикционов. Для включения нужной ступени в таких передачах необходимо подать давление в определенную группу гидроцилиндров.

Эта операция выполняется с помощью различных гидравлических систем, представляющих собой многопозиционные распределительные устройства. В системах ручного управления (СУ) она осуществляется по команде водителя, а в системах автоматического управления (САУ) часть переключений автоматизирована. В обоих случаях воздействие водителя на систему управления может передаваться с помощью механического привода или без него (электрическими или другими устройствами).

Система ручного управления с механическим приводом представляет собой простейший золотниковый многопозиционный распределитель с одним или несколькими золотниками, механически связанными между собой. Системы автоматического управления, а также ручные системы без механического привода более сложны, так как отсутствие внутренних механических связей накладывает на их структуру ряд дополнительных требований.

Гидравлические САУ широко применяются на легковых автомобилях. Эти системы выполняют одни и те же функции и основаны на одинаковых принципах. Тем не менее по конструкции все они представляют собой оригинальные устройства. Схемы таких САУ несложны, так как они предназначены для небольших ГМП. Вероятно, именно поэтому общие методы построения САУ отсутствуют, разработка схем осуществляется интуитивно. Однако анализ показывает, что подобные методы применительно к тяжелым многоступенчатым трансмиссиям становятся крайне трудоемкими, а во многих случаях — непригодными. Для разработки совершенных САУ многоступенчатых трансмиссий необходимы эффективные приемы, которые позволяли бы не только строить схемы, но

и обеспечивать требуемое качество и их оптимальность относительно определенных признаков.

В данной работе предлагается для построения схем рассматриваемых гидравлических САУ и СУ применять общие методы синтеза релейных устройств. При этом используется то известное обстоятельство, что основные элементы указанных систем имеют релейную характеристику, т. е. имеют только два рабочих положения, соответствующих понятиям «включено» и «выключено». Очевидно, что такая характеристика определяется природой объекта управления — дискретным изменением передаточных чисел.

Рассмотрим задачу синтеза структурной схемы гидравлической системы управления применительно к САУ. Предполагается, что системы ручного управления без механического привода в отношении синтеза не отличаются от САУ.

Типовая гидравлическая САУ многоступенчатой передачи представляет собой группу взаимосвязанных автоматических («переключающих») клапанов, реагирующих на изменение гидравлических управляющих сигналов (давлений), и вспомогательных клапанов. Управляющие сигналы вырабатываются специальными датчиками и обычно являются функциями скорости движения машины и нагрузки двигателя. В зависимости от величины и соотношения этих сигналов, изменяющихся в процессе движения, САУ осуществляет переключения ступеней посредством подачи в определенную комбинацию силовых гидроцилиндров давления от гидронасоса. Переключающие клапаны имеют релейную характеристику относительно управляющих сигналов, и поэтому в дальнейшем будут называться гидравлическим реле, или приемным. Каждое реле является двухпозиционным и осуществляет переключения только между двумя ступенями.

Примем условно, что все ступени трансмиссии автоматизированы. В действительности часть ступеней управляется только вручную.

В соответствии с приведенным описанием составлена принципиальная схема САУ (рис. 1). Схема показывает, что рассматриваемая САУ представляет собой простейшую замкнутую одноконтурную нелинейную систему управления скоростью самоходной машины. Здесь самоходная машина является управляемым объектом, а трансмиссия — управляющим органом. Выходной величиной последнего является переменное передаточное число трансмиссии Z_j , причем $1 < j < m$, где m — число ступеней трансмиссии.

В ступенчатой трансмиссии Z_j принимает j дискретных значений. В ГМП Z_j может изменяться в пределах j диапазонов, величина которых определяется кинематической характеристикой бесступенчатого элемента. Выходная величина — скорость движения машины v измеряется датчиком, вырабатывающим сигнал P_v , пропорциональный v .

Чувствительный элемент — релейная часть системы осуществляет сравнение этого сигнала с величиной γ , задаваемой водителем посредством задающего устройства. Последнее преобразует задающий сигнал γ в давление P_γ , подаваемое в релейную часть. Желаемый закон управления вводится в систему в виде сложной зависимости $P_\gamma = f(\gamma)$ и настройки гидравлических реле. При наличии рассогласования между заданным и измерен-

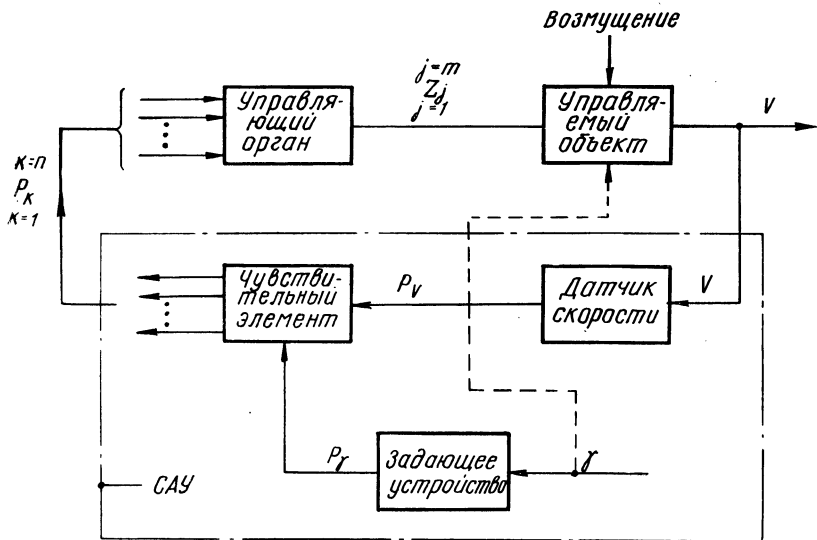


Рис. 1.

ным значениями скорости чувствительный элемент подает сигнал на изменение передаточного числа трансмиссии, т. е. переключает ее ступени путем включения новой комбинации гидроцилиндров. Выход чувствительного элемента (релейной части) представлен в виде n трубопроводов, связывающих его с гидроцилиндрами трансмиссии. Для включения k -го цилиндра необходимо наличие давления p_k в k -ом трубопроводе.

Если принять, что при наличии давления $p_k = 1$, а при отсутствии $p_k = 0$, то выходы чувствительного элемента будут изображать собой двоичные числа, имеющие n разрядов. При этом будет всего t таких различных чисел. Теперь можно n выходов релейной части заменить одним, помня, что сигнал на этом выходе является цифровым. Тогда принципиальная схема САУ примет обычный вид. Многие ее элементы являются существенно нелинейными, и прежде всего гидравлические реле.

Для разработки системы, изображенной на рис. 1, необходимо решить следующие задачи: 1) выбрать законы управления,

обеспечивающие заданные тяговые, динамические, экономические и другие характеристики машины; 2) разработать схемы и конструкции САУ.

Первая задача решается с помощью теории автомобиля. Предполагается, что соответствующие данные при построении схемы уже известны. Далее рассматривается только вторая задача. Как видно из рис. 1, она заключается в построении системы, обведенной штрих-пунктиром.

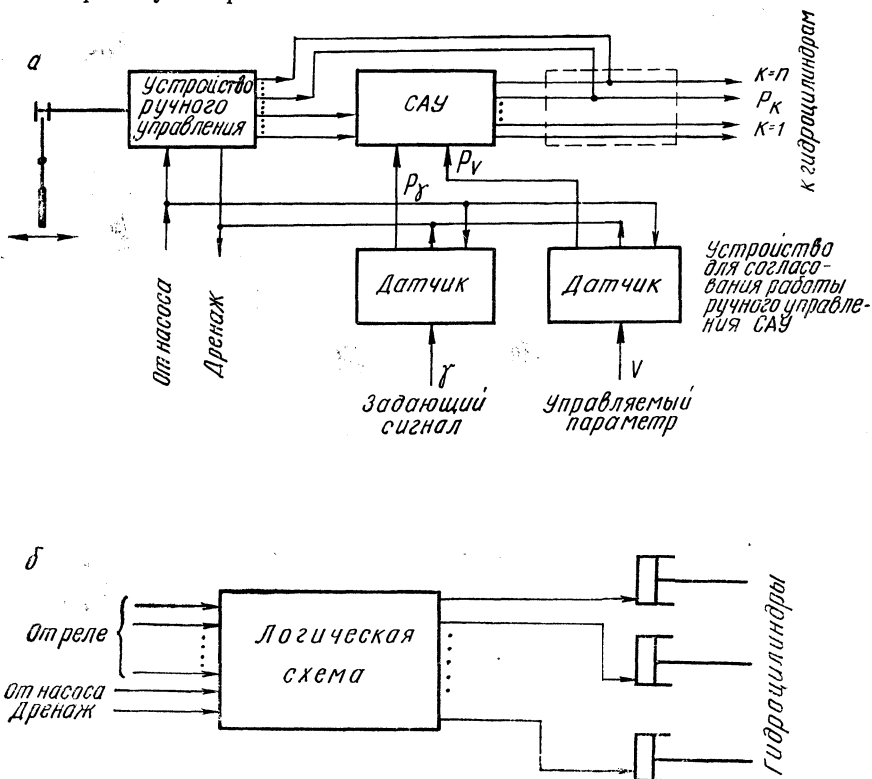


Рис. 2.

В отношении описания объекта управления схема (рис. 1) является весьма упрощенной. Однако собственно САУ здесь содержит все функциональные элементы, имеющиеся в реальных системах, за исключением некоторых вспомогательных устройств. Поэтому далее САУ рассматривается в виде, изображенном на рис. 1. Полная блок-схема САУ представлена на рис. 2, а.

Таким образом, функции САУ можно представить в виде двух основных задач: 1) измерение рассогласования между заданным и текущим значениями контролируемого параметра — скорости дви-

жения и подача гидравлического сигнала о появлении рассогласования; 2) осуществление переключения, т. е. подача давления от гидронасоса в нужную группу гидроцилиндров.

Первую задачу выполняют гидравлические реле. Для целей синтеза будем считать, что реле выполнены как самостоятельные устройства, воспринимающие управляющие сигналы и при срабатывании выдающие на свой выход гидравлический сигнал (давление).

Поскольку эти реле функционально не связаны между собой, при синтезе они могут быть заменены изображениями своих выходов. Тогда исходная схема для синтеза будет иметь вид схемы, представленной на рис. 2, б. Функция этой схемы заключается в преобразовании входной комбинации сигналов, поступающих от реле, в отличную от нее комбинацию сигналов на выходах. В теории релейных устройств такая операция называется логической. Соответственно назовем показанную на рис. 2, б часть САУ логической схемой. Теперь задача построения структурной схемы САУ сводится к синтезу логической схемы, изображенной на рис. 2, б.

Кроме основной функции, логическая схема должна отвечать ряду дополнительных требований, обусловленных как особенностями трансмиссии, так и самой САУ. Это накладывает жесткие ограничения на систему и в значительной степени предопределяет ее структурную схему. Указанные требования регламентируют поведение системы в случае ее отказа (кратковременного или длительного).

Возможны следующие виды отказов рассматриваемых САУ: 1) несрабатывание; 2) неправильное срабатывание (включение запрещенных комбинаций гидроцилиндров, «случайная» нейтраль, пропуск ступеней); 3) замедленное срабатывание.

Аварийными являются отказы, которые в короткое время выводят из строя трансмиссию. К ним относятся отказы второй и третьей групп. Включение запрещенной комбинации гидроцилиндров является наиболее опасным для трансмиссии, так как приводит к ее блокировке или к работе на недопустимых режимах. Предотвращение подобных отказов — одно из главных требований к структуре САУ. Включение «случайной» нейтрали возможно в трансмиссиях, имеющих более двух степеней свободы ($\lambda = 2$). В таких трансмиссиях для получения нейтрали достаточно, чтобы число включенных гидроцилиндров было меньше $\lambda - 1$, где λ — число степеней свободы трансмиссии. Следовательно, нейтраль может включаться различными комбинациями или исключением всех гидроцилиндров, и формально любой вариант не является отказом. Однако режимы работы элементов трансмиссии для каждой комбинации различны, и среди них могут быть недопустимые. Соответствующие комбинации должны быть запрещены (аналогичный анализ необходимо проводить также для режимов нака-

та). Это относится и к нарушению последовательности переключений (к пропуску ступеней), которое сопровождается появлением высоких динамических нагрузок, и угрозой поломки деталей силовой передачи. Предупреждение случайного пропуска ступеней возможно с помощью структуры САУ или специальных устройств — «ограничителей». Отказы третьей группы редки и менее опасны.

С точки зрения теории релейных систем рассматриваемые гидравлические САУ являются одноктактными (комбинационными) логическими устройствами. Их схемы, как видно из рис. 2, б, представляют собой многополюсник, входами которого служат выходы приемных реле, напорная и сливная магистрали, а на выходах установлены исполнительные гидроцилиндры. Важнейшие функциональные требования к искомому многополюснику следующие: однозначное соответствие между входными и выходными комбинациями сигналов, «разделительность» структуры (невозможность появления паразитных проводимостей между включенными и выключенными полюсами), исключение запрещенных состояний.

Задача синтеза заключается в построении одноктактной логической схемы в виде многополюсника, отвечающего перечисленным требованиям.

Исходные данные для синтеза должны содержать сведения о количестве гидроцилиндров и ступеней с ручным, автоматическим и дублированным управлением, а также о рабочих, запрещенных и безразличных комбинациях гидроцилиндров.

Для синтеза релейных схем применяется аппарат булевой алгебры. Методы синтеза электрических релейных устройств весьма разнообразны и широко освещены в литературе. Однако специфика гидросистем затрудняет использование указанных методов для построения гидравлических релейных схем. Применение их к гидросистемам началось лишь в последние годы, и соответствующие материалы пока крайне немногочисленны.

Наибольшей простотой и наглядностью отличается алгебраический метод, использованный для построения гидросхем в работе А. В. Перекрестова [5]. Однако при синтезе сложных схем он становится слишком громоздким и не дает оптимальных решений. В подобных случаях необходимы более сложные методы. Один из них предложен для построения пневматических систем [2]. Весьма удобен метод синтеза переключательных схем [1], позволяющий применительно к гидросхемам формализовать процесс построения и получать результат в виде готовой структурной схемы.

Содержание алгебраического метода сводится к следующему. Простейшим гидравлическим релейным элементом является «проточный элемент» [5] — клапан, соединяющий или разъединяющий пару каналов. Если состояния клапанов обозначить логическими переменными X, Y, \dots , то их соединения в схемах можно представить в виде выражений булевой алгебры, таких, что при подста-

новке значений переменных эти функции принимают те же значения, что и сигнал на выходе схемы (1 или 0). Такие логические функции, описывающие структуру системы, называются релейными функциями проводимости или структурными формулами. Состояние клапана (положение золотника), соответствующее отсутствию внешних управляющих сигналов (сил), обозначается буквами с чертой: \bar{X} , \bar{Y} , ... Состояние, соответствующее наличию управляющего сигнала, обозначается теми же буквами, но без черты. Алгебраический синтез сводится к составлению релейных функций для всех выходов схемы и последующему ее построению по этим функциям.

Построим схему САУ (рис. 3) для пятиступенчатой передачи с пятью управляющими элементами a, b, c, d, e , работающими в следующем порядке: задний ход (ЗХ) — b, c, e ; I (X) — a, c, d ; II (Y) — a, b, c ; III (Z) — a, c, e ; IV (K) — a, d, e ; нейтраль (H) — e . Положим, что автоматизированы все переключения, а I ступень, ЗХ и H включаются вручную, но также с помощью логической схемы САУ. Реализация такой системы возможна различными схемами. Будем строить ее в виде активной схемы типа «контактного» многополюсника. Тогда искомая схема будет иметь два входа (напорная и сливная магистрали), 5 выходов и 6 независимых аргументов (считая I ступень, задний ход и нейтраль). Выходы обозначим теми же буквами, что и связанные с ними гидроцилиндры, а аргументы — номерами соответствующих ступеней.

Условимся, что выключенные гидроцилиндры должны соединяться со сливом с помощью гидравлических цепей, инверсных напорным [5], и что на любой высшей ступени включено приемное реле этой ступени и все реле низших ступеней.

Теперь можно записать структурные формулы для всех выходов схемы:

гидроцилиндр a
 напорная ветвь: $a = X$,
 сливная ветвь: $\bar{a} = \bar{X}$.

Аналогично

гидроцилиндр b : $b = 3X + Y\bar{Z}$, гидроцилиндр c : $c = 3X + X \cdot \bar{K}$
 $\bar{b} = \bar{3X}(\bar{Y} + Z)$, $\bar{c} = \bar{3X}(\bar{X} + K)$
 гидроцилиндр d : $d = X \cdot \bar{Y} + K$, гидроцилиндр e : $e = H + 3X + Z$
 $\bar{d} = (\bar{X} + Y) \bar{K}$, $\bar{e} = \bar{H} \cdot \bar{3X} \cdot \bar{Z}$

На рис. 3 показаны структурная (а) и гидравлическая (б) схемы, соответствующие этим релейным функциям. На гидравлической схеме для изображения клапанов использованы международные символы [5].

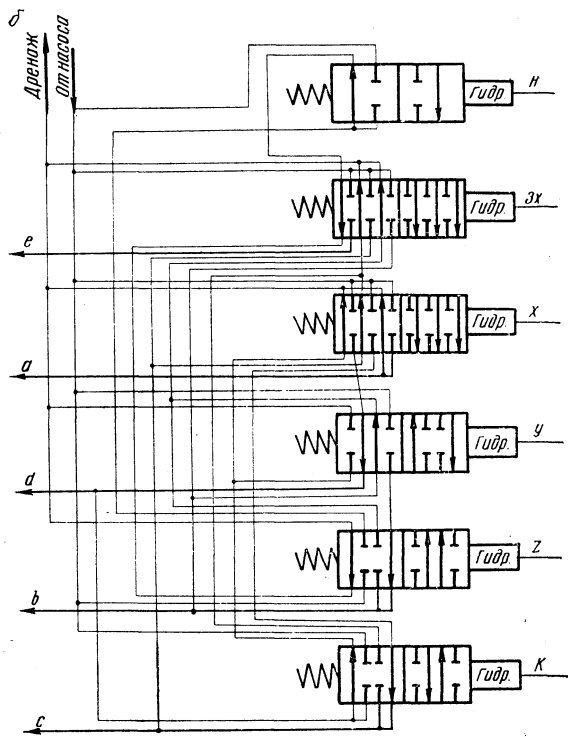
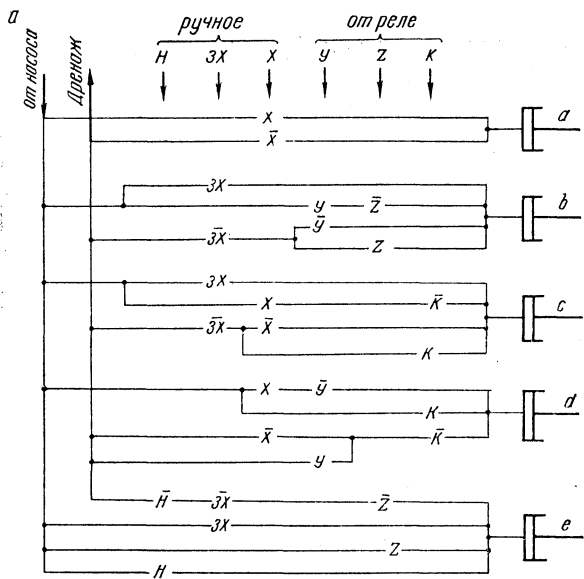


Рис. 3.

Существующие гидравлические САУ, как правило, имеют схему, известную в электрических релейных системах под названием пирамиды. Особенность подобных схем заключается в том, что они обеспечивают большинство функциональных требований при простоте структуры. Однако анализ показывает, что такие схемы в общем случае пригодны лишь для трансмиссий типа КПП + мультипликатор, причем должны использоваться все комбинации гидроцилиндров.

В остальных случаях нужны более сложные схемы (рис. 3, б). В связи с этим при синтезе САУ возникает необходимость в предварительном анализе кинематической схемы трансмиссии. Если последняя имеет λ степеней свободы, n управляющих элементов, m ступеней, то на любой ступени в ней нужно включать $\lambda - 1$ элементов. Тогда максимально возможное количество ступеней будет:

$$\alpha = C_n^{\lambda-1}.$$

Если $m < \alpha$, то используются не все ступени. Тогда верхняя граница числа трансмиссий, имеющих одинаковые λ , m , n , но отличающихся рабочими комбинациями управляющих элементов, будет

$$\beta = C_\alpha^m = C_n^{m\lambda-1}.$$

Это количество велико [3], например, для рассмотренной ранее трансмиссии

$$\alpha = C_6^3 = \frac{6!}{3!3!} = 20,$$

$$\beta = C_{20}^6 = \frac{20!}{14!6!} = \frac{19 \cdot 17 \cdot 16 \cdot 15}{2} = 38900.$$

Только для части из β возможных трансмиссий можно использовать схему типа пирамиды.

Рассмотрим в качестве примера известную трансмиссию «Пауэрматик» [4], имеющую $\lambda = 3$, $n = 5$ (без фрикциона заднего хода), $m = 6$. Для этой трансмиссии

$$\alpha = C_5^2 = 10 \text{ или } \begin{matrix} ab & ac & ad & ae \\ & bc & bd & be \\ & & cd & ee \\ & & & de \end{matrix}$$

В трансмиссии использованы только шесть выделенных комбинаций гидроцилиндров. Для управления ими применена схема типа пирамиды. Однако достаточно любую из этих комбинаций заменить на комбинацию ab , чтобы пирамида оказалась непригодной.

В этом легко убедиться путем проб. Из перечисленных десяти комбинаций можно составить 210 трансмиссий, так как:

$$\beta = C_{10}^6 = \frac{10!}{6!4!} = 210.$$

Очевидно, что схема в виде пирамиды пригодна лишь для части этих трансмиссий.

Описанные методы можно использовать также для построения электро- или пневмогидравлических командных систем, в которых отсутствует механическая связь между органом управления, расположенным в кабине водителя, и самим механизмом управления.

Л и т е р а т у р а

1. *Блох А. Ш.* Синтез переключательных схем. Минск, 1966.
2. *Герц Е. В., Зенченко В. П., Крейнин В. П.* Синтез пневматических приводов. М., 1966.
3. *Крейнес П. А., Розовский М. С.* Зубчатые механизмы. М., 1965.
4. *Ланидус В. А., Петров В. И.* Гидравлические передачи автомобилей. М., 1961.
5. *Перекрестов А. В.* Построение релейных схем гидроавтоматики. М., 1965.