

## РЕГУЛЯТОР ЧИСЛА ОБОРОТОВ ДВИГАТЕЛЯ

С. К. Корабельников, к. т. н.

Электромеханический регулятор числа оборотов дизельного двигателя заменяет механический всережимный регулятор числа оборотов дизельного двигателя, использует жесткие механические и электрические связи между своими частями для перемещения топливodoзирующего органа топливного насоса сельсином-двигателем.

Конечное положение топливodoзирующего органа определяется положением педали подачи топлива и динамикой изменения частоты вращения вала двигателя. Их предварительное преобразования в электрические величины с помощью сельсинов-датчиков и суммирование угловых величин дифференциальным сельсином позволяет точно и плавно регулировать частоту вращения вала двигателя на всех режимах его работы.

Исключена дискретность перемещения топливodoзирующего органа, что повышает равномерность изменения подачи количества топлива, снижает его расход и повышает экологические показатели работы двигателя.

Electromechanical speed governor can be a substitute for all-speed centrifugal speed governor of a diesel engine. It is built around a synchro that positions engine fuel rack through a number of rigid mechanical and electric links.

Fuel rack position will depend on foot-throttle position and actual engine speed. The both values are sensed by respective synchro transmitters whose signals are fed to a differential synchro; signal summation is performed in a way that ensures accurate and smooth speed control over the whole range of engine speed and power.

Fuel rack movement is continuous rather than incremental, which contributes into smoothness of fuel index control, better fuel efficiency and environmental performance of diesel engine.

Индикаторные и эффективные показатели работы дизельного двигателя и токсичность его отработавших газов определяются регулировкой состава смеси и угла опережения начала впрыска топлива. Необходимо отметить важность регулирования количества впрыскиваемого топлива, ведь эта характеристика определяет не только состав рабочей смеси, но и отвечает за дымность отработавших газов, а также влияет на экономичность работы дизеля в целом.

При эксплуатации дизельный двигатель работает преимущественно на режимах неполной нагрузки, причем величина нагрузки изменяется в значительных пределах. В работе преобладают переходные процессы, связанные с неперiodическими изменениями нагрузки на дизель. При этом возрастает доля токсичных выбросов и увеличивается расход топлива, что требует оптимизации подачи топлива в любой момент времени работы двигателя и сокращения времени колебания при подаче топлива на неустановившихся режимах работы дизеля, исключая перерасход топлива.

Повышение плавности с одновременным увеличением скорости изменения количества впрыскиваемого топлива в зависимости от нагрузки на двигателе позволило бы более точно регулировать подачу топлива в дизельный двигатель. Решение этой задачи не только бы улучшило работу двигателя, сделало его более экономичным, но и повысило его экологическую безопасность, что особенно важно при эксплуатации транспортных средств внутри города и особенно используемых в агропромышленном комплексе.

Количество впрыскиваемого топлива определяется работой регулятора числа оборотов. Традиционно регулятор представляет собой механическое устройство, использующее в своей работе центробежные грузы, от положения которых зависит перемещение рейки топливного насоса, управляющей подачей топлива. Но в последнее время наметилась тенденция к использованию электрических машин и механизмов в качестве исполнительного органа регулятора. Изменение количества подаваемого топлива происходит за счет преобразования вращательного движения электрической машины в линейное перемещение топливodoзирующего органа топливного насоса дизельного двигателя в зависимости от ряда параметров, определяемых с помощью электрических датчиков.

Существующие электронные регуляторы числа оборотов дизельного двигателя различны по кон-

струкции, но все, как минимум, содержат электрическую машину и электронный блок управления, соединенный чаще всего с задающим устройством и датчиком частоты вращения двигателя.

Недостатком таких регуляторов является частичное замещение механических составляющих электрическими, сохранение механических связей для определения положения топливodoзирующего органа, что сохраняет конструкцию механической части регулятора сложной для регулировки. Полное отсутствие механических преобразователей требует увеличения сложности электронной схемы блока управления, а использование в качестве электрической машины дискретных устройств снижает точность позиционирования топливodoзирующего органа и вызывает колебание при поступлении топлива, что ведет к его перерасходу на неустановившихся режимах работы двигателя.

Предлагаемый регулятор числа оборотов двигателя позволяет регулировать частоту вращения вала двигателя за счет электрических составляющих, использует жесткие механические и электрические

связи между ними, что позволяет увеличить точность и плавность перемещения топливodoзирующего органа двигателя в зависимости как от изменения частоты вращения двигателя, так и от нагрузки на его валу.

Блок-схема регулятора числа оборотов представлена на рис. 1.

Регулятор содержит электрическую машину в виде сельсина-двигателя, вал которого кинематически связан с топливodoзирующим органом двигателя. Регулятор содержит устройство задания частоты вращения, жестко связанное с первым угловым преобразователем, дополнительно включены дифференциальный сельсин, связанный со вторым угловым преобразователем, задатчик угла коррекции, связанный с третьим угловым преобразователем, датчик частоты вращения двигателя и источник переменного тока, который обеспечивает согласование угловых положений сельсина-двигателя и угловых преобразователей. Выход источника переменного тока параллельно соединен с входами первого, второго и третьего угловых преобразо-

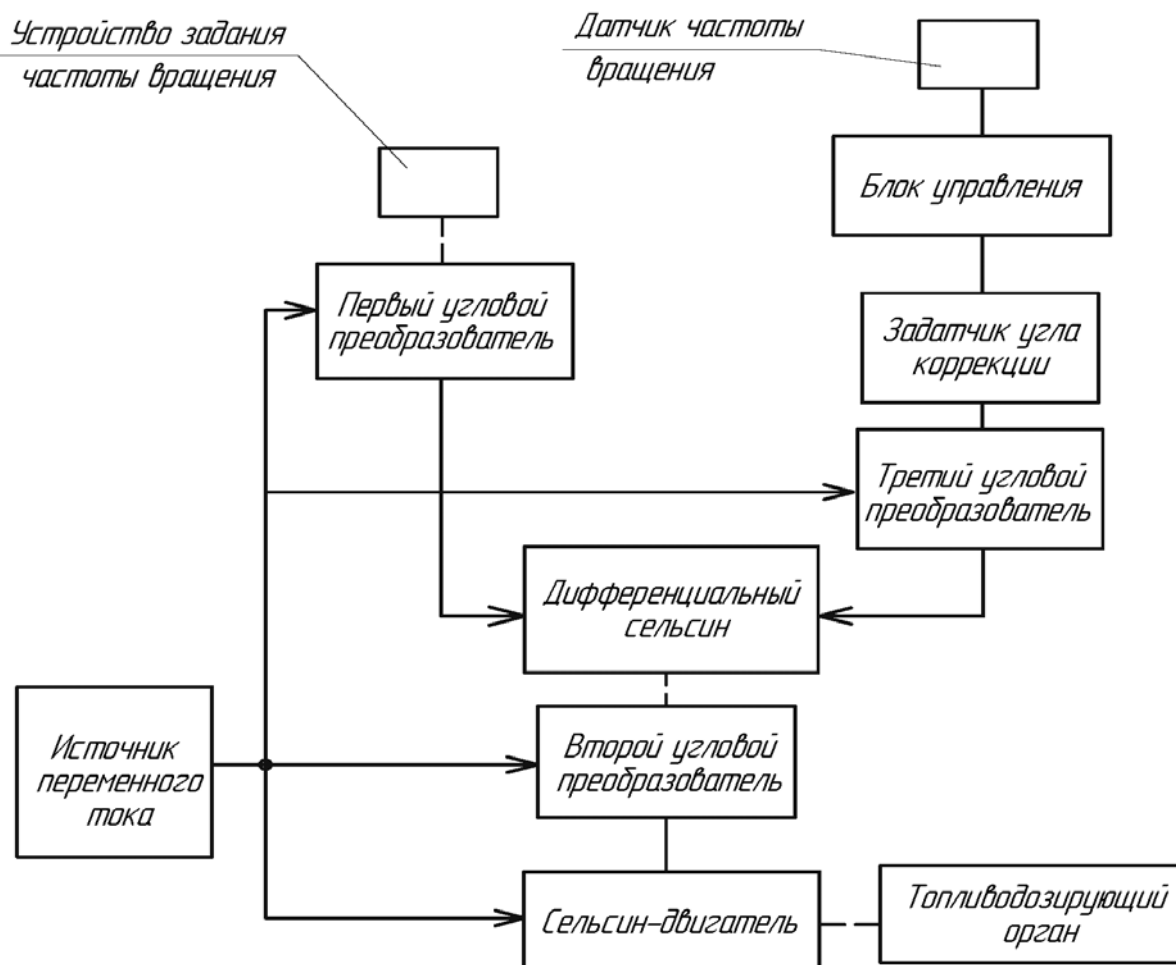


Рис. 1. Блок-схема регулятора частоты вращения дизельного двигателя

зователей и с первым входом сельсина-двигателя. Выходы первого и третьего угловых преобразователей соединены соответственно с первым и вторым входами дифференциального сельсина, выход второго углового преобразователя соединен со вторым входом сельсина-двигателя. Выход датчика частоты вращения двигателя соединен со входом блока управления, выход блока управления соединен со входом задатчика угла коррекции.

Первый и второй угловые преобразователи формируют на выходах трехфазные управляющие сигналы, электрически определяющие угловые величины, задающие соответственно положение устройства задания частоты вращения и угол коррекции. Дифференциальный сельсин выполняет их автоматическое сложение в суммарное угловое перемещение, величина которого определяет положение вала сельсина-двигателя трехфазным управляющим сигналом на выходе третьего углового преобразователя. В качестве угловых преобразователей могут быть исполь-

зованы или трехфазные сельсины-датчики, или линейные многополюсные поворотные трансформаторы, или синусно-косинусные поворотные трансформаторы с фазовращательной системой.

Угол коррекции, формируемый блоком управления, пропорционален разности частот вращения коленчатого вала двигателя и определяется путем сравнения двух последовательно определяемых частот вращения. Датчик частоты вращения двигателя позволяет корректировать скорость перемещения топливоподающего органа при изменении нагрузки на валу двигателя или при резком изменении частоты вращения двигателя. Кинематическая связь вала сельсина-двигателя с топливоподающим органом топливного насоса может осуществляться с помощью различных механических передач, в том числе реечной, рычажной, винтовой и т. п., преобразующих вращательное движение вала сельсина-двигателя в перемещение топливоподающего органа.

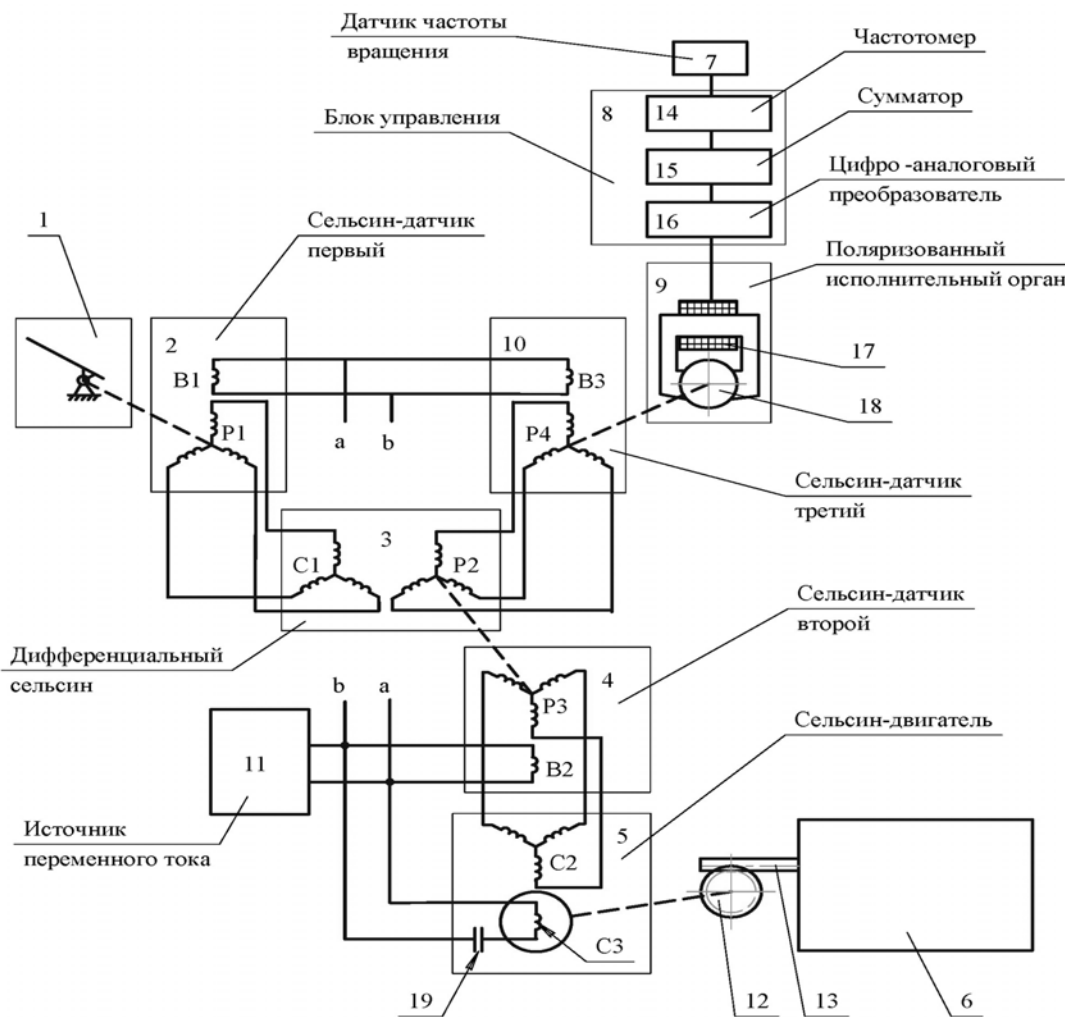


Рис. 2. Схема регулятора частоты вращения дизельного двигателя:

1 — педаль подачи топлива; 6 — топливный насос высокого давления; 12 — шестерня; 13 — рейка топливного насоса; 17 — обмотка исполнительного органа; 18 — якорь исполнительного органа; 19 — конденсатор

Использование в регуляторе сельсина-двигателя исключает дискретность перемещения топливо-регулирующего органа. Кроме этого отсутствуют преобразующие механические связи, так как все его механические связи жесткие, а подвижные — заменены электрическими.

Блок-схема, представленная на рис. 2, является частным случаем выполнения регулятора дизельного двигателя.

В этом варианте регулятора угловые преобразователи выполнены в виде трехфазных сельсинов-датчиков, в качестве устройства задания частоты вращения использована педаль подачи топлива, в качестве задатчика угла коррекции использован поляризованный электромагнитный исполнительный орган, а блок управления включает частотомер, сумматор и цифрово-аналоговый преобразователь.

Использование в качестве угловых преобразователей сельсинов-датчиков увеличивает плавность и точность перемещения топливодозировочного органа, поскольку по принципу действия сельсин представляет собой поворотный трансформатор высокой статической и динамической точности, у которого при вращении ротора происходит плавное изменение взаимной индуктивности между его обмотками — однофазной первичной (обмоткой возбуждения) и трехфазной вторичной (обмоткой синхронизации). При этом сельсины сохраняют способность к самосинхронизации при высоких скоростях вращения. Передачу электрических сигналов обеспечивает использование индикаторного режима работы сельсинов.

Педаль подачи топлива жестко соединена с валом первого сельсина-датчика, выполняющего функцию первого углового преобразователя. Трехфазный выход его ротора P1 соединен с трехфазным входом обмотки статора C1 дифференциального сельсина, вал ротора P2 которого жестко связан с валом второго сельсина-датчика, осуществляющего функцию второго углового преобразователя. Трехфазный выход ротора P3 второго сельсина-датчика соединен с трехфазным входом обмотки синхронизации внешнего статора C2 сельсина-двигателя, вал которого посредством, например, зубчатого колеса кинематически связан с топливной рейкой ТНВД.

Выход датчика частоты вращения соединен со входом блока управления, совпадающим со входом частотомера, выход частотомера соединен со входом сумматора, выход которого соединен со входом цифрово-аналогового преобразователя. Выход цифрово-аналогового преобразователя одновременно является выходом блока управления, который соединен со входом поляризованного исполнительного органа, использованного в качестве задатчика угла коррекции. Частотомер определяет значение частоты вращения двигателя через равные

промежутки времени по сигналу, поступающему на его вход от датчика частоты вращения. Сумматор сохраняет промежуточные значения двух последовательно определенных частот вращения и определяет разность между ними. Цифрово-аналоговый преобразователь формирует из разности показаний двух частот вращения сигнал управления задатчиком угла коррекции. В качестве задатчика угла коррекции может быть использован поляризованный электромагнитный исполнительный орган, якорь которого при отсутствии тока удерживается в среднем положении пружиной. В зависимости от направления тока в обмотке якорь может поворачиваться в соответствующем направлении. Якорь поляризованного исполнительного органа жестко соединен с валом третьего сельсина-датчика, трехфазный выход ротора P4 которого соединен с трехфазным входом обмотки ротора P2 дифференциального сельсина. Выход источника переменного тока соединен с обмотками возбуждения B1, B2 и B3 соответственно каждого из сельсинов-датчиков и обмоткой возбуждения внутреннего статора C3 сельсина-двигателя. Дополнительно в цепь питания статора C3 включен конденсатор, обеспечивающий временной сдвиг магнитного поля, необходимый для поворота ротора сельсина-двигателя на заданный дифференциальным сельсином угол.

В начальный момент система находится в исходном согласованном режиме работы, который соответствует работе двигателя с устойчивой частотой вращения коленчатого вала. В это время в электрических связях отсутствуют токи в линиях связи между обмотками: ротор P1 — статор C1, ротор P4 — ротор P2 и ротор P3 — статор C2.

Под действием пульсирующего магнитного потока, создаваемого обмотками возбуждения B1, B2, B3 сельсинов-датчиков, при повороте каждого из роторов в обмотках синхронизации P1, P3 и P4, наводятся ЭДС, пропорциональные углу их поворота, которые вызывают протекание токов по соответствующим линиям связи. Эти токи создают результирующие магнитодвижущие силы (МДС), которые формируют магнитные потоки ротора и статора дифференциального сельсина и неподвижного статора сельсина-двигателя. Вращающий момент, возникающий в дифференциальном сельсине между статором и ротором, пропорционален векторному произведению магнитных потоков статора и ротора.

Так как в согласованном режиме оси обмоток возбуждения первого и третьего сельсинов-датчиков не изменяют своего положения, то направления МДС и направления созданных ими магнитных потоков статора и ротора в дифференциальном сельсине остаются неизменными и ротор его будет находиться в покое. Изменение положения



оси какой-либо из обмоток синхронизации первого P1 и третьего P4 сельсинов-датчиков при повороте их роторов на отличный от первоначального положения угол вызывает электрические токи. Угол рассогласования между положением магнитных потоков ротора P2 и статора C1 стремится прийти в согласованное положение за счет возникновения вращающего момента, под действием которого ротор P1 дифференциального сельсина поворачивается на суммарный угол, в результате чего магнитные потоки ротора P2 и статора C1 дифференциального сельсина будут согласованы. Поворот ротора P2 дифференциального сельсина за счет жесткой механической связи передается на ротор P3 третьего сельсина-датчика. В результате суммарного углового смещения и наличия емкости в цепи обмотки возбуждения подвижного статора C3 сельсина-двигателя образуются два магнитных потока, имеющих пространственный и временной сдвиги, которые воздействуют на его ротор. От этого он начинает вращаться и разворачивает объект управления на заданный угол. Устранение угла рассогласования магнитных потоков в сельсине-двигателе происходит за счет одновременного поворота подвижного статора C3 через встроенный в сельсин-двигатель редуктор. Обработка угла прекращается, когда угол рассогласования станет равным нулю. Во время этого поворота ротор сельсина-двигателя переместит рейку топливного насоса на соответствующую величину, изменяя цикловую подачу топлива.

Регулятора числа оборотов двигателя работает следующим образом.

При изменении положения педали в направлении увеличения топливоподачи, например, нажатием на нее, изменяется положение ротора P1 первого сельсина-датчика. На его выходе формируется трехфазный сигнал управления, поступающий на обмотку статора C1 дифференциального сельсина, вызывая синхронный и синфазный поворот его ротора P2 на угол, равный углу изменения положения педали. Поскольку валы дифференциального сельсина и второго сельсина-датчика жестко связаны, на выходе второго сельсина-датчика сформируется соответствующий новому угловому положению его ротора P3 трехфазный электрический сигнал. Сигнал поступит на вход сельсина-двигателя, создаст пропорциональный вращающий момент на его валу, что за счет кинематической связи плавно и точно переместит топливную рейку в направлении увеличения подачи топлива в двигатель. Уменьшение числа оборотов двигателя происходит при отпускании педали подачи топлива. При этом ротор P1 первого сельсина-датчика повернется в обратном направлении, на его выходе сформируется соответствующий новому углу положения педали трехфазный сигнал управления,

магнитный поток статора C1, а затем и ротор P2 дифференциального сельсина повернутся на соответствующий угол до согласования их магнитных потоков, что вызовет поворот ротора P3 второго сельсина-датчика, а затем вала сельсина-двигателя и топливной рейки в направлении уменьшения подачи топлива.

Для увеличения плавности перемещения топливной рейки и учета нагрузки на двигателе датчик периодически регистрирует частоту вращения вала двигателя, значение которой определяется с помощью частотомера в равные интервалы времени. Сумматор вычисляет разность между двумя последовательно определенными значениями частоты вращения, а цифрово-аналоговый преобразователь формирует пропорциональный разности частоты вращения сигнал управления, который поступает на обмотку исполнительного органа и перемещает его якорь в ту или другую стороны в зависимости от полярности сигнала управления. Перемещение якоря поляризованного исполнительного органа в конечном итоге изменяет суммарный угол поворота ротора P2 дифференциального сельсина. В результате этого обеспечивается плавное изменение количества поступающего в цилиндры двигателя топлива, корректирующее изменение числа оборотов двигателя в зависимости от разности двух последовательно определяемых частот вращения вала двигателя. При положительной разности частот вращения формируется отрицательный, а при отрицательной — положительный угол коррекции подачи топлива.

Сформированный сигнал с выхода третьего сельсина-датчика передается на обмотку ротора P2 дифференциального сельсина и соответственно уменьшает или увеличивает заданный педалью угол поворота его ротора, что позволяет регулировать число оборотов двигателя в зависимости от нагрузки на нем. В результате число оборотов двигателя может изменяться до первоначально установленного положением педали подачи топлива. При неизменном положении педали подачи топлива и совпадении последовательно определяемых датчиком и блоком управления частот вращения двигателя изменение положения топливной рейки не происходит.

Регулятор повышает равномерность изменения подачи количества топлива, поступающего в цилиндры двигателя, что приводит к снижению расхода топлива и повышению экологических показателей работы двигателя, снижая дымность отработавших газов двигателя. Поэтому предлагаемая модель регулятора может быть использована при разработке топливной аппаратуры дизелей автомобильных и тракторных средств, а также стационарных дизельных установок, эксплуатируемых в условиях высоких экологических требований.