

Повышение динамических качеств дизель-генератора в системе дополнительной энергетики автопоезда

к.т.н. доц. Фомин А.П.

Университет машиностроения

8 (917) 567 -89 -71, afomin2008@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены возможности повышения динамических качеств дизель-генератора в системе дополнительной энергетики автопоезда, определены влияющие факторы и особенности управления. Предложена система автоматического регулирования дизель-генератора, позволяющая решить поставленную задачу и прошедшая дорожные испытания.

Ключевые слова: большегрузный автопоезд, система дополнительной энергетики, дизель-генератор, система автоматического регулирования.

В последнее десятилетие сохраняется тенденция увеличения объема перевозок автомобильным транспортом длинномерных тяжеловесных неделимых грузов как специального, так и общехозяйственного назначения, таких как трубы большого диаметра, химические колонны, фрагменты или целые корпуса речных судов и другие. Традиционным средством таких перевозок являются автопоезда в составе мощного тягача и полуприцепа, способные перевозить грузы массой 40-60 т по автодорогам общей сети. Чтобы обеспечить надежную доставку грузов в зимних условиях, прицепные звенья выполняют активными, и для их активизации используют тяговый электропривод с питанием от электрогенератора, устанавливаемого на тягач.

Подобные перевозки относительно редки, однако носят регулярный характер. В ряде случаев грузы являются однотипными. Все это определяет экономическую целесообразность применения в составе автопоезда серийно выпускаемых тягачей с гидромеханической трансмиссией, таких как КЗКТ и МАЗ с мощностью дизельного двигателя 480 кВт и более, а также специальных полуприцепных звеньев высокой грузоподъемности, конструктивно приспособленных под определенный груз [1].

Дальнейший рост массы груза до 100-150 т вызвал необходимость повышения энерговооруженности автопоездов до 750-1000 кВт, увеличения количества полуприцепных звеньев до двух с обязательной активизацией одного из них. Для повышения мощности используют дополнительный источник энергии, устанавливаемый на прицепное звено. Им является автономный блок в составе теплового двигателя, обычно дизельного, и тягового генератора. К генератору подключают тяговые электродвигатели колес, образуя систему дополнительной энергетики и активизации (СДЭА) автопоезда.

Двигатель СДЭА может иметь повышенную мощность, так как прицепное звено обычно тяжелее тягача. Однако более удобно использование однотипных двигателей равной мощности, если при этом обеспечивается нужная энерговооруженность.

Работа тепловых двигателей и разнородных трансмиссий автопоезда должна быть определенным образом согласована для получения высоких тягово-динамических и тягово-сцепных качеств. В основу согласования закладывают принцип равного участия двигателей в выполнении транспортной работы, предполагающий равную относительную загрузку двигателей мощностью, что способствует их равномерному износу и повышению долговечности [2]. В режимах, когда возникает потребность в увеличенной силе тяги, переходят на распределение сил тяги звеньев пропорционально их сцепным весам, позволяющее наилучшим образом использовать сцепные возможности автопоезда. Кратковременно допускаются и другие варианты распределения мощности и силы тяги, например, при маневрировании с большими углами складывания звеньев [3].

В настоящее время задача решается путем автоматического регулирования тягового генератора по сигналу задатчика, связанного с педалью акселератора на тягаче. Этот сигнал

задает требуемую мощность и максимальный ток генератора. По первому параметру ведется основное регулирование мощности двигателя СДЭА, по второму реализуется ограничение силы тяги прицепного звена в соответствии с его сцепным весом. Чтобы не перегрузить двигатель, его заранее выводят на стационарный скоростной режим исходя из ожидаемой нагрузки. Этот режим соответствует внешней регуляторной характеристике, если автопоезд груженный, и частичной регуляторной характеристике, если порожний.

Существенными недостатками такого управления СДЭА является повышенный расход топлива и ускоренный износ теплового двигателя, вызываемый продолжительной работой на внешней скоростной характеристике. Для устранения этих недостатков можно установить взаимосвязь между эффективной мощностью и частотой вращения двигателя, соответствующую так называемой линии наибольшей экономичности (ЛНЭ). Тогда при использовании однотипных двигателей в составе тягача и СДЭА и равенстве моментов инерции их нагрузки становится возможным синхронизировать изменение эффективных мощностей двигателей и добиться повышения экономичности СДЭА.

Однако на практике момент инерции дизель-генератора оказывается в 10-20 раз больше, что связано с наличием массивного ротора генератора и применением повышающей передачи между генератором и дизелем. В связи с этим затягиваются переходные процессы при изменении скоростного режима. Для сравнения отметим, что в экспериментах время разгона двигателя тягача под нагрузкой с минимальной частоты вращения до максимальной при полном нажатии педали акселератора составило 1,8-2,0 с, а у двигателя СДЭА в аналогичном режиме 24-26 с.

Существенное различие в моментах инерции делает невозможной удовлетворительную синхронизацию двигателей по частоте вращения и сказывается на получаемом распределении мощности. Поэтому важным является определение благоприятных скоростных режимов двигателя СДЭА и выявление наиболее выгодной взаимосвязи его эффективной мощности и частоты вращения при работе на частичных нагрузках.

Известно, что обычно в режиме частичных нагрузок стремятся управлять дизель-генератором в соответствии с ЛНЭ. При этом наибольший эффект достигается, если работа ведется в статических режимах. В реальных условиях эксплуатации значительную часть времени занимают переходные режимы, вызываемые изменением продольного профиля пути, дорожной обстановки, включением и выключением вспомогательных нагрузок. В этих режимах двигатель «уходит» с ЛНЭ, и расход топлива увеличивается. В результате расход топлива может повышаться на 30-50% в сравнении со статическими режимами.

Увеличение расхода топлива может быть вызвано действиями водителя. Опыт работы с дизель-генератором, имевшем регулирование по ЛНЭ, показал, что, пытаясь ускорить разгон автопоезда, водитель часто задает педалью акселератора завышенную частоту вращения, а затем, по мере разгона, педаль отпускает. Появляются дополнительные затраты топлива на разгон. В целом работа по ЛНЭ не позволяет получить хорошие динамические качества дизель-генератора и достичь минимальный расход топлива.

Рассматривая эксплуатационные режимы, отметим также, что в процессе движения основную часть времени (до 70-80%) тепловые двигатели работают с высоким уровнем мощности. Это связано с их низкой удельной мощностью 4-5 кВт/т. Режимы с небольшими нагрузками относительно кратковременны, что сдвигает рабочую область на скоростных характеристиках двигателей в сторону предельных мощностей.

Исходя из этого и учитывая опыт использования тепловых двигателей на тяжелых транспортных средствах, сделан вывод, что в случае большой разницы в моментах инерции нагрузки целесообразно выбирать ступенчатое управление скоростным режимом двигателя СДЭА. В качестве рабочих берут 2-3 регуляторных характеристики $N_e(n_e)$, где: N_e – эффективная мощность, n_e – частота вращения (рисунок 1).

Первая характеристика является внешней, вторая (средняя на рисунке) – проходит через область наименьших удельных расходов топлива, третья – соответствует малым значениям частоты вращения и нагрузки и может использоваться, например, при маневрировании. Пе-

переход с одной характеристики на другую (на рисунке 1 показано жирной линией) должен выполняться автоматически в зависимости от заданной мощности путем ступенчатого изменения положения задающего органа всережимного регулятора. Иногда заводы-изготовители назначают диапазон частот вращения, в котором допускается длительная работа двигателя. В этом случае положение частичных регуляторных характеристик нужно выбирать с учетом этих требований.

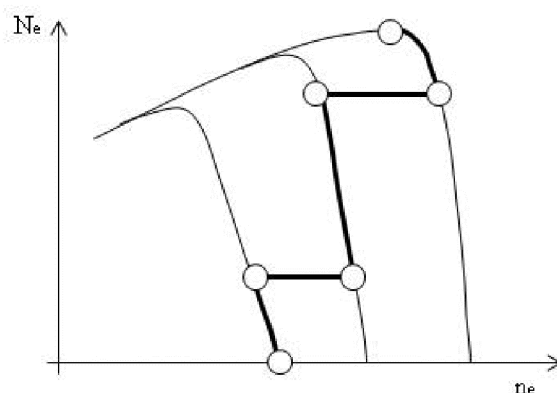


Рисунок 1 – Пример ступенчатого управления скоростным режимом двигателя

При таком управлении основными будут режимы работы с мало меняющейся частотой вращения. В них дизель-генератор оказывается готовым к приему резко растущей нагрузки, а его механическая инерция препятствует снижению частоты вращения. В случае частичной нагрузки двигатель установки работает в области малых удельных расходов топлива и способен, при необходимости, реализовать максимальную мощность после перехода на внешнюю характеристику. На малых нагрузках снижается частота вращения, что благоприятно отражается на расходе топлива и снижает шум, утомляющий водителя. Количество переходных режимов, сопровождающихся увеличением частоты вращения, резко сокращается. Все эти факторы позволяют повысить динамические качества дизель-генератора и транспортного средства в целом.

Переходы с одной регуляторной характеристики на другую происходят при перемещении педали акселератора тягача за пределы рабочей зоны, отведенной для текущей характеристики. Так, в случае сброса педали происходит переход на характеристику с меньшей частотой вращения, а при нажатии на педаль - переход на характеристику с большей частотой вращения и сопровождается временным ограничением мощности нагрузки, чтобы обеспечить разгон дизель-генератора. Известен вариант ограничения, когда задаваемую мощность жестко увязывают с частотой вращения. При этом в переходном процессе мощность нарастает, оставаясь на допустимом для разгона уровне. Такой вариант характеризуется продолжительным временем разгона. Другой известный вариант предусматривает снижение задаваемой на время переходного процесса мощности на определенную величину или до нуля. Тогда разгон оказывается наиболее быстрым, сокращается время работы с повышенными затратами топлива. В ряде случаев это ускоряет разгон всего транспортного средства. Однако данный вариант связан с провалом силы тяги, что при малом запасе скорости может вызывать остановку автопоезда, например, на подъеме. Кроме того, восстановление силы тяги по окончании переходного процесса приводит к рывку, который может быть неожиданным и неприятным для водителя.

Более рациональным является предлагаемый вариант, предусматривающий сохранение задаваемой мощности на исходном уровне на время переходного процесса. При этом отсутствует провал силы тяги, а время разгона дизель-генератора сокращается за счет задержки роста мощности нагрузки. Скачок мощности в конце процесса относительно невелик и сглаживается за счет значительной массы автопоезда.

На рисунке 2 представлена функциональная схема системы автоматического регулирования (САР) дизель-генератора, реализующая предложенные принципы управления.

Тяговый генератор Г через выпрямитель В обеспечивает питание нагрузки, которой яв-

ляются тяговые электродвигатели. Его обмотка возбуждения подключена через управляемый выпрямитель УВ к вспомогательному генератору ГВ, имеющему постоянную величину напряжения.

Педаля акселератора на тягаче ПА имеет датчик положения ДП, сигнал которого α приходит на программный блок ПБ, обеспечивающий ступенчатое управление всережимным регулятором частоты вращения ВРЧВ дизеля СДЭА. Этот же сигнал поступает в канал регулирования мощности и канал ограничения тока. Первый из них содержит датчик тока ДТ, датчик напряжения ДН, умножитель У, устройство сравнения УС7, функциональный преобразователь ФП2, реализующий зависимость между сигналом заданной электрической мощности генератора P_3 и сигналом α , инерционный элемент ИЭ2, задерживающий изменение выходного сигнала относительно сигнала P_3 , коммутатор К, переключающий соединение выходной цепи с входами, формирователь Ф, реагирующий на сигналы рассогласования от устройств сравнения и формирующий сигнал управления выпрямителем УВ Δ . Канал ограничения тока включает в себя датчик ДТ, устройство сравнения УС5 и формирователь ФП1, обеспечивающий взаимосвязь сигнала максимального тока генератора I_3 и сигнала α . Имеется канал ограничения напряжения, содержащий датчик напряжения ДН и устройство сравнения УС6, где сравниваются постоянный задающий сигнал по напряжению U_3 и сигнал обратной связи по напряжению U . В САР также есть канал ограничения частоты вращения, куда входят блок ПБ, датчик частоты вращения дизеля ДЧВ, четыре устройства сравнения УС1-УС4, инерционный элемент ИЭ1, задерживающий изменение выходного сигнала относительно сигнала заданной минимальной частоты вращения n_3 , четыре нелинейных элемента НЭ1-НЭ4.

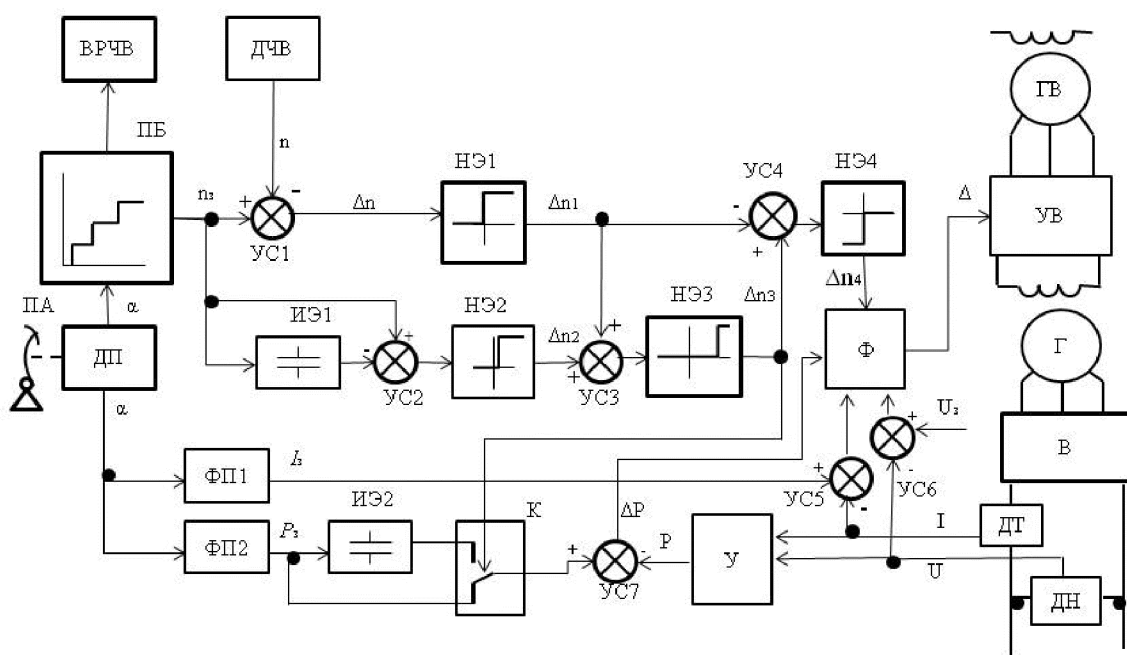


Рисунок 2 – Функциональная схема системы автоматического регулирования (САР) дизель-генератора

Формирователь Ф имеет четыре входа. При положительных или нулевых сигналах на всех входах он формирует сигнал Δ , открывающий выпрямитель УВ и увеличивающий ток возбуждения генератора Г. При отрицательном сигнале хотя бы на одном входе формирователь изменяет сигнал Δ на запирающий, и ток возбуждения уменьшается.

Устройства сравнения представляют собой сумматоры, суммирующие входные сигналы с указанными на схеме знаками. Нелинейные элементы реагируют на знак и величину входного сигнала и имеют два состояния: нулевой выходной сигнал, соответствующий логическому нулю, и сигнал большой величины, соответствующий логической единице. Элементы НЭ2 и НЭ3 имеют также зону нечувствительности, что отражено на схеме. Инерционные элементы характеризуются большой постоянной времени, позволяющей сохранить выходной

сигнал практически неизменным на время перехода дизеля на более высокую регуляторную характеристику.

При движении водитель перемещает педаль ПА. По сигналу α датчика ДП блок ПБ выдает команду всережимному регулятору ВРЧВ на вывод двигателя в соответствующий скоростной режим и устанавливает сигнал n_3 , соответствующий минимально допустимой частоте вращения дизеля для заданной ступени переключения. Сигнал α поступает также в канал регулирования мощности, где преобразуется в сигнал заданной мощности генератора P_3 . САР поддерживает заданную мощность путем сравнения сигнала задания с сигналом обратной связи P и воздействия разностным сигналом на формирователь Φ и выпрямитель УВ. В системе имеются задающие сигналы максимального напряжения и максимального тока генератора G . Последний поступает от преобразователя ФП1. Эти сигналы сравниваются устройствами УС5 и УС6 с сигналами обратной связи U и I от датчиков соответственно ДН и ДТ. Если любой из разностных сигналов будет отрицательным, формирователь Φ создаст запирающий сигнал Δ . Таким образом, возникает ограничение напряжения и тока в заданных пределах.

При возникновении перегрузки дизеля сигнал частоты вращения n становится меньше сигнала n_3 , разностный сигнал Δn и сигнал Δn_1 будут положительными, а сигнал Δn_4 отрицательным. Выпрямитель УВ закрывается, и ток возбуждения падает. При снятии перегрузки происходят обратные процессы. Таким образом, САР обеспечивает защиту от перегрузки, которая может возникнуть в результате дрейфа характеристик дизеля и управляющих устройств, а также увеличения вспомогательной нагрузки.

В режимах, связанных с увеличением мощности и переходом на более высокую регуляторную характеристику, на выходе устройства УС2, в котором сравниваются сигнал от инерционного элемента ИЭ1 и сигнал n_3 , появляется положительный сигнал разности. Сигналы Δn_1 и Δn_2 становятся логической единицей, и их сумма превышает порог в элементе НЭ3. Он также дает сигнал Δn_3 , соответствующий логической единице. На выходе устройств УС4 и НЭ4 имеем нулевые сигналы. В результате ограничение мощности не наступает. Одновременно коммутатор K переключает внутренние цепи, и на устройство УС7 приходит мало изменяющийся сигнал, который будет сохраняться до момента обратного переключения K . Обратное переключение возможно в двух случаях. Первый - наступает после завершения разгона ($\Delta n < 0$), второй - при сбросе педали ПА водителем ($\Delta n_2 < 0$). При этом сигналы Δn_3 и Δn_4 обнуляются и не влияют на работу системы.

Данная схема САР была реализована на экспериментальном автопоезде с СДЭА массой 100т. Она показала свою работоспособность и обеспечила выполнение всех вышерассмотренных функций. Подтверждена полная готовность дизель-генератора к приему нагрузки в режимах с постоянной частотой вращения. В переходных режимах время перехода на более высокую частоту вращения сократилось в 1,5 - 2 раза благодаря задержке нарастания мощности. Все это обеспечило повышение динамических качеств дизель-генератора. Дополнительными положительными эффектами были снижение расхода топлива и уровня шума СДЭА.

Рассмотренные принципы управления и схема САР могут быть применены не только в СДЭА автопоездов, но и в автономном теплоэлектрическом приводе тяжелых автотранспортных средств.

Литература

1. Гладов Г.И., Петренко А.М. Специальные транспортные средства: Проектирование и конструкции. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.-320с.
2. Сливинский В.И. и др. Распределение мощности в активных автопоездах с дополнительным тепловым двигателем. В сб. «Исследование и проектирование транспортных средств», вып.166, М., МАДИ. 1979. - с. 8-12.
3. Устройство для регулирования мощности электропривода прицепного звена автопоезда. Авт.: Сливинский В.И., Степанов Е.Ф., Фомин А.П. – Авторское свидетельство СССР № 1065261.