

Повышение эффективности эксплуатации тепловозов при применении микропроцессорного управления дизель-генератором

Е.Е. КОССОВ, д-р техн. наук, профессор, М.А. ЧЕБОТАРЕВ, аспирант

Эффективность применения на транспортных установках форсированных дизелей в значительной мере зависит от динамических свойств последних, определяющих их приемистость при умеренных тепловых перегрузках и дымлении выхлопа. Существенно влияет на эти свойства дизелей система управления.

При экспериментальных исследованиях [1] влияние свойств дизеля и качества управления на показатели переходного режима рассматривали раздельно. Это возможно было сделать, поскольку система управления фактически не оказывает влияния на ход процесса, ограничивая регулируемый параметр, так как его значение определяется только свойствами самого объекта (в нашем случае дизеля). Если обеспечить

заданный коэффициент избытка воздуха, показатели работы дизель-генератора в переходном режиме получают некоторую определенность. Создать такие условия можно при наличии устройства ограничения подачи топлива в зависимости от давления воздуха. В том случае, когда система регулирования не создает ограничения по угловому ускорению, при резком изменении установки механизма, управляющего частотой вращения, регулятор скорости будет ус-

танавливать максимальную подачу топлива в соответствии с фактическим давлением наддува. Это означает, что влияние свойств системы регулирования скорости исключается, так как дальнейшее изменение подачи топлива и показателей переходного процесса будет зависеть от заданной мощности нагрузки, свойств дизеля и работы системы воздухообеспечения.

Угловое ускорение коленчатого вала в таком переходном процессе существенно зависит от мощности нагрузки. В экспериментах [1] уровень нагрузки задавался пропорционально угловой скорости и мог изменяться в широких пределах. Практически можно было получить любое угловое ускорение

коленчатого вала при цикловой подаче топлива, соответствующей выбранному ограничению. Показатели переходного процесса в этом случае соответствовали способности дизеля развивать вращающий момент при выбранных агрегатах наддува и заданных значениях ω_d , $d\omega_d/dt$, α .

Расчетные исследования [1] переходного процесса четырехтактного дизеля при ограничении цикловой подачи и заданном угловом ускорении коленчатого вала позволили установить, что в первый момент переходного процесса резко перемещаются рычаги управления подачей топлива в положение, при котором достигается ограничение, связанное с давлением наддувочного воздуха. Практически одновременно с этим достигается максимальное угловое ускорение коленчатого вала, что свидетельствует о согласовании пере-

$$\frac{\partial P_i}{\partial t} = \frac{\partial P_i}{\partial \omega_d} \frac{d\omega_d}{dt} + \frac{\partial P_i}{\partial p_{int}} \frac{dp_{int}}{dt} \quad (1)$$

Обработка осциллограмм переходных процессов позволяет оценить приемистость, связанную с угловым ускорением коленчатого вала, — первое слагаемое правой части равенства (1). Эта величина определяется рабочим объемом двигателя, допустимым коэффициентом избытка воздуха, моментом инерции вращающихся масс силовой установки, уровнем нагрузки и заданным темпом ее изменения $\frac{\partial P_i}{\partial \omega_d}$ в зависимости от угловой скорости. Наибольшее влияние на приемистость в процессе разгона коленчатого вала оказывает диапазон регулирования угловой скорости коленчатого вала двигателя.

При большей начальной угловой скорости коленчатого вала начальное

первое, так и второго слагаемого равенства (1). Первое слагаемое возрастает вследствие увеличения крутизны гене-

$$\frac{\partial P_i}{\partial \omega_d}$$

второе — в результате интенсификации работы агрегатов наддува в начале переходного процесса. Для любого исходного режима при заданном значе-

$$\frac{\partial P_i}{\partial \omega_d}$$

определяется угловым ускорением коленчатого вала, которое при выбранном коэффициенте избытка воздуха для сгорания зависит от допустимого мгновенного приращения индикаторного вращающего момента двигателя. Изменение давления наддува при увеличении угловой скорости вала на холостом ходу невелико и в выражении (1) не является определяющим фактором; однако оно существенно сказывается на значении второго слагаемого того же равенства. При оценке приемистости двигателя идентичного конструктивного исполнения соотношение (1)

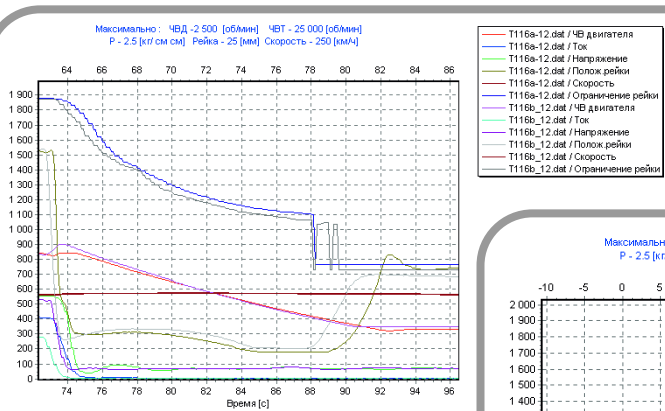


Рис. 1. Разгон и выход на полную мощность дизель-генераторов при параллельной работе секций тепловоза

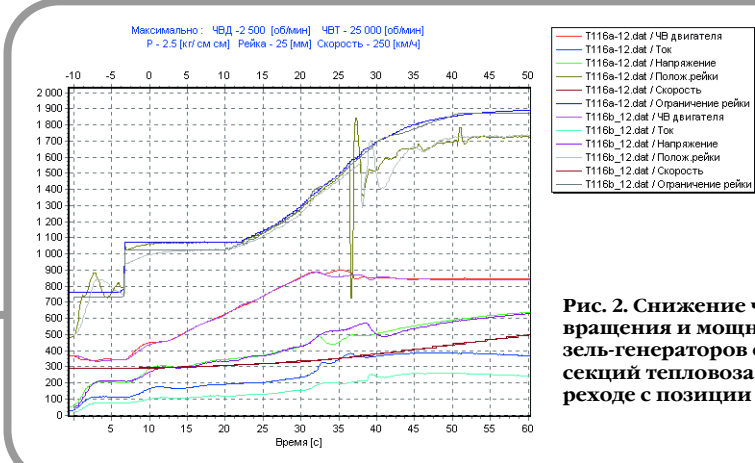


Рис. 2. Снижение частоты вращения и мощности дизель-генераторов обеих секций тепловоза при переходе с позиции 15 на 0

мещения рычагов управления подачей топлива с фактическим изменением подачи. Изменение нагрузки генератора обеспечивает постоянство углового ускорения коленчатого вала. По мере увеличения частоты вращения коленчатого вала дизеля вначале наблюдается некоторое снижение давления наддува, а затем его повышение. Частота вращения ротора турбокомпрессора увеличивается по мере роста частоты вращения вала дизеля.

Изменение режима работы турбокомпрессора заметно влияет на цикловую подачу топлива и эффективную мощность дизеля. Приемистость дизеля по мощности возрастает. Происходит как бы суммирование приемистости двигателя, полученной в результате увеличения ω_d при постоянном давлении наддува, и приращения мощности, вызванного ростом давления наддува:

давление наддува выше и монотонно возрастает на протяжении всего переходного процесса; интенсивно увеличивается доля эффективной мощности, связанной с режимом работы турбокомпрессора. Следует отметить, что увеличение начальной угловой скорости ротора турбокомпрессора при увеличении ω_d связано с конструктивными особенностями системы воздухообеспечения дизеля.

Анализ результатов расшифровки осциллограмм показывает, что по мере сужения диапазона регулирования угловой скорости коленчатого вала дизеля приемистость силовой установки возрастает в результате увеличения как

дает вполне удовлетворительные результаты. Уменьшая диапазон регулирования угловой скорости вала двигателя, можно только изменением первого слагаемого равенства (1) добиться заданной приемистости по мощности dP_i/dt . Целесообразность такого решения встречает, прежде всего, возражения экономического характера, так как в этом случае возрастают потери силовой установки тепловоза при работе на холостом ходу и частичных нагрузках, доля которых в течение всего времени работы весьма велика. Естественно стремление решить проблему, не увеличивая величину ω_d на холостом ходу

или увеличивая ее минимально. В связи с этим, прежде всего, необходимо рассмотреть возможности повышения приемистости за счет второго слагаемого равенства (1).

При экспериментальном определении приемистости дизеля, зависящей от режима работы турбокомпрессора, целесообразно использовать переходные процессы с постоянной угловой скоростью коленчатого вала [1]. В этом случае приращение цикловой подачи топлива будет однозначно определять угловое ускорение ротора турбокомпрессора и, следовательно, значение второго слагаемого в равенстве (1). При низкой угловой скорости коленчатого вала в зоне слабого влияния работы агрегатов наддува на область допустимых режимов двигателя изменение начального режима работы двигателя мало сказывается на границе дымления и допустимой цикловой подаче топлива. Повышение угловой скорости приводит к перемещению границы дымления в сторону больших цикловых подач.

Приемистость по мощности на этих режимах определяется скоростью изменения давления наддува и может составлять соответственно 20 и 67 кВт/с для диапазона изменения нагрузки 110 и 400 кВт, т.е. соответственно 10 и 14%. При большей частоте вращения коленчатого вала приемистость дизель-генератора 2А-9ДГ по мощности, связанная с режимом работы агрегатов наддува, превышает требования тяги, а значит, практически не является ограничивающим фактором.

В первом приближении для любого тепловозного двигателя с газотурбинным наддувом можно по статическим характеристикам определить область режимов работы, не имеющую ограничений по времени приема нагрузки из-за «инерционности» агрегатов наддува по следующему приближенному соотношению:

$$\frac{dp_{int}}{dP_i} p_{int}^{-1} \geq B_T^{-1} \frac{dB_T}{dP_i}, \quad (2)$$

где p_{int} , P_p , B_T — соответственно давление наддувочного воздуха, индикаторная мощность и расход топлива дизелем при работе в установившихся режимах по генераторной характеристике.

На рис. 1 показан пример набора и сброса нагрузки дизель-генераторов при параллельной работе двух секций тепловоза. Среднее время разгона ко-

ленчатого вала дизель-генераторов составило 24 с, а выхода на полную мощность — порядка 45 с. При такой комбинации управляющих коэффициентов и заданном темпе роста оборотов и мощности дизеля была достигнута почти бездымная работа обоих дизелей тепловоза. Некоторое ухудшение качества завершения переходного процесса, в плане стабильности положения реек топливных насосов, по отношению к предыдущим опытам, возникшее при достижении дизель-генераторами номинальной частоты вращения 850 об/мин, объясняется наложением в этот момент возмущения от срабатывания реле переходов на обеих секциях.

При сбросе позиций контроллером машиниста длительность снижения текущей частоты вращения валов дизель-генераторов составило 17 с, а длительность всего переходного процесса — около 18 с.

Проведенные испытания опытных дизелей Д49 тепловоза 2ТЭ116 № 1360 Приволжской железной дороги и расчеты на их основании показали, что средний удельный эксплуатационный расход топлива этого тепловоза может быть снижен на 12% за счет:

- повышения механического КПД дизеля на 2,5%, а индикаторного — на 5%;
- снижения затрат мощности на собственные нужды тепловоза на 1,5%;
- управления секционной тягой на 3%.

По удельным выбросам вредных веществ и дымности в отработавших газах усовершенствованные дизели Д49 удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51249 и Р 51250. Тепловоз 2ТЭ116 № 1360 прошел приемочные испытания на экспериментальном кольце ВНИИЖТа и проходит эксплуатационные испытания в депо Сарепта Приволжской жд.

Выводы, сделанные при испытании четырехтактных дизелей, в целом пригодны для оценки динамических качеств двухтактных дизелей с газотурбинным наддувом. Необходимо только учитывать, что в неравенство (2) вместо p_{int} следует ввести изменение степени повышения давления в компрессоре турбокомпрессора \mathcal{L}_k .

Таким образом, динамические свойства форсированных дизелей определяются уровнем нагрузки по статическим характеристикам, диапазоном регулирования частоты вращения коленчатого вала и конструктивным исполнением агре-

гатов наддува. При соответствующем выборе статической характеристики нагружающего устройства и диапазона регулирования частоты вращения коленчатого вала дизель с газотурбинным наддувом удовлетворяет требованиям тяги по скорости приема нагрузки.

Эффективным средством повышения эксплуатационных технико-экономических показателей тепловозов является оптимизация характеристик дизель-генератора в каждой рабочей точке, чего можно достичь при помощи экстремальных регуляторов, в которых закон регулирования выбирается по максимуму или по минимуму того или иного параметра.

В целях повышения эксплуатационных технико-экономических показателей целесообразно обеспечить эффективное управление выполнением требований тяги по скорости приема нагрузки, при наибольшем диапазоне регулирования частоты вращения и повышенной генераторной характеристике.

Наиболее эффективным средством повышения технико-экономических показателей тепловозов при работе их в широком диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала, мощности нагрузки, профиля пути и параметров окружающей среды является использование законов управления, предполагающих изменение настройки и алгоритма работы отдельных звеньев и всей системы в целом. Поставленные задачи [1] наиболее эффективно с технической точки зрения и с минимальными затратами средств могут решаться на базе микропроцессорной техники. Появляется возможность без каких-либо конструктивных изменений получить большой набор законов регулирования каждого конкретного объекта. От микропроцессорной системы в данном случае требуется только обеспечить необходимую вычислительную мощность с запасом на дальнейшее развитие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коссов Е.Е., Сухопаров С.И. Оптимизация режимов работы тепловозных дизель-генераторов / Труды ВНИИЖТ. — М.: Интекст, 1999.
2. Грищенко А.В., Грачев В.В., Ким С.И. Микропроцессорные системы автоматического регулирования электрпередачи тепловозов. — М.: Маршрут, 2004.
3. Коссов Е.Е., Шанран Е.Н., Фурман В.В. Совершенствование режимов работы силовых энергетических систем тепловозов. — Луганск: СНУ им. В. Даля, 2006. — 280 с.