

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОМ ТЕПЛОВОЗА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

Шапран Е.Н.

Восточноукраинский национальный университет

eshap@snu.edu.ua

In the article there are results of analysis the possibility of the construction microprocessor regulator of the main electric drive which to improve tractive-energetic characteristics of locomotives.

Многочисленные исследования показывают, что процессы нагружения дизель-генератора менее экономичны по сравнению со статическими режимами. Это обусловлено необходимостью подачи дополнительного количества топлива для преодоления сил сопротивления разгону вала дизель-генератора, что приводит к нарушению соотношения между количеством топлива и давлением наддувочного воздуха и, как следствие этого, к перегрузке дизеля и дымлению [1].

Цель данной работы заключается в исследовании возможности увеличения экономичности дизеля в переходных режимах работы.

Как известно внедрение микропроцессорных систем вместо гидромеханических регуляторов дизель-генераторов позволяет на программном уровне гибко изменять алгоритмы их функционирования, в том числе задавать мощностные характеристики с наибольшей экономичностью. Так, например, появилась возможность разделения процесса нагружения дизель-генератора на два этапа. При этом вначале можно провести разгон при мощности предыдущей позиции контроллера машиниста, а затем выполнить догружение до мощности, соответствующей вновь заданной.

На рис. 1 показана зависимость эффективного момента дизеля от частоты вращения вала $M_o = f(n_o)$, соответствующая наиболее экономичной характеристике статического режима нагружения дизеля 12ЧН 26/26 (кривая 1).

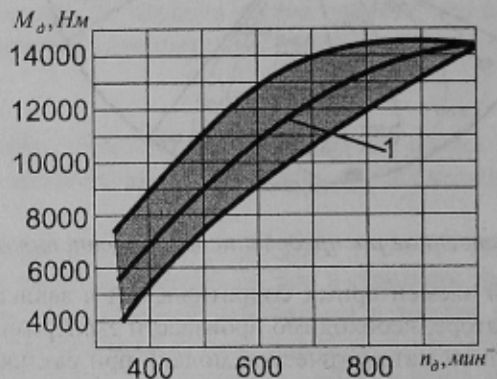


Рисунок 1 – Зависимость крутящего момента дизеля от частоты вращения вала на установившихся режимах

Эта зависимость рекомендуется заводом-изготовителем как наиболее оптимальная (с учетом допустимых отклонений) при настройке тепловозной характеристики. Следовательно, к ней необходимо стремиться и в переходных режимах. Для создания необходимого ускорения вала дизель-генератора исполнительная часть регулятора должна обеспечивать избыток вращающего момента M_o по отношению к моменту сопротивления M_c согласно уравнения

$$M_o - M_c = I_m \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где M_o – вращающий момент на валу дизеля, который передается тяговому генератору;

M_c – момент сопротивления, создаваемый тяговым генератором; I_m – момент инерции дизель-генератора, приведенный к валу дизеля; $\omega = \frac{2\pi n_o}{60} = \frac{\pi n_o}{30}$ – угловая скорость вала; $\frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi n_o}{30} \frac{\Delta n_o}{\Delta t}$ – угловое ускорение вала.

Из уравнения (1) следует, что в установившихся режимах $M_o = M_c$, так как ускорение вала дизеля равно нулю и все точки равновесия будут располагаться на оптимальной линии нагружения (кривая 1).

Как уже указывалось выше в существующих системах регулирования мощность дизель-генератора в переходных режимах задается пропорционально частоте вращения ω , а ускорение вала дизеля $\frac{d\omega}{dt}$ принимается постоянным или изменяется в незначительных пределах от 3 до 6 с⁻² (при наличии корректора подачи топлива по наддуву). Таким образом момент сопротивления M_c начинает возрастать одновременно с ростом частоты вращения вала дизеля. Если принять для оценочного расчета

$$M_c = kn_\omega; \frac{d\omega}{dt} = const, \quad (2)$$

то из уравнения (1) следует, что для сохранения вращающего момента дизеля M_ω на оптимальной характеристике при выполнении условий (2) необходимо уменьшить момент сопротивления от внешней нагрузки на величину динамического момента M_p для создания ускорения вала дизеля. При этом зависимость (1) будет иметь вид:

$$M_\omega = (M_c - M_p) + I_m \frac{d\omega}{dt}, \quad (3)$$

где $M_p = I_m \frac{d\omega}{dt}$ – динамический момент для разгона дизель-генератора.

Таким образом в существующих схемах регулирования, как показывают исследования, характеристика нагружения $M_\omega = f(n_\omega)$ располагается выше оптимальной на величину динамического момента M_p .

Из уравнения (1) видно, что нагружение дизель-генератора можно осуществить в два этапа. Причем на первом этапе момент сопротивления сохраняется постоянным на уровне предыдущей позиции ($M_c = const$), а угловое ускорение должно изменяться от 0 (в момент перестановки контроллера) до максимального значения, когда частота вращения вала дизеля достигает уровня вновь заданной позиции. Максимальное значение ускорения может быть найдено из уравнения (1) в следующем виде:

$$\left(\frac{d\omega}{dt}\right)^{\max} = \frac{M_\omega'' - M_c'}{I_m}, \quad (4)$$

где M_ω'' – вращающий момент, соответствующий уровню вновь заданной позиции контроллера (берется из оптимальной статической характеристики $M_\omega = f(n_\omega)$, рис. 1, кривая 1); M_c' – вращающий момент, соответствующий уровню предыдущей позиции (берется также из оптимальной статической характеристики).

Таким образом, при условии $M_c = const$ и $\frac{d\omega}{dt} = kn_\omega$ в диапазоне от предыдущей позиции контроллера машиниста до вновь заданной позиции зависимости $I_m \frac{d\omega}{dt} = f(n_\omega)$ и $M_\omega = f(n_\omega)$ будут на первом этапе совпадать, т.е. характеристика нагружения будет располагаться на оптимальной линии установившихся режимов. Когда частота вращения достигнет уровня вновь заданной позиции, угловое ускорение вала дизеля станет равным нулю, что должно обеспечиваться исполнительной частью регулятора. После этого момент сопротивления необходимо скачкообразно увеличить от уровня предыдущей позиции M_c' до уровня вновь заданной позиции M_c'' и сохранить его в течение второго этапа постоянным ($M_c'' = const$). На этом этапе должна происходить стабилизация параметров рабочего процесса дизель-генератора.

Наиболее сложным в рассмотренном процессе нагружения представляется практическое осуществление скачкообразного увеличения момента сопротивления от величины $M_c' = const$ до $M_c'' = const$. Поэтому с учетом допустимой интенсивности роста продольных сил в составе скачкообразное увеличение момента было заменено нагружением по экспоненциальной характеристике при $n_\omega = const$.

На рис. 2 показаны расчетные зависимости $n_\omega = f(t)$ переходных характеристик для схем регулирования с корректором подачи топлива ($M_c = var$ и $\frac{d\omega}{dt} \approx 3...6c^{-2}$, кривая 1) и с предлагаемым блоком задания ($M_c' = const$ и $\frac{d\omega}{dt} = var$, кривая 2) на примере перехода со 2-й на 3-ю позицию контроллера машиниста дизель-генератора тепловоза.

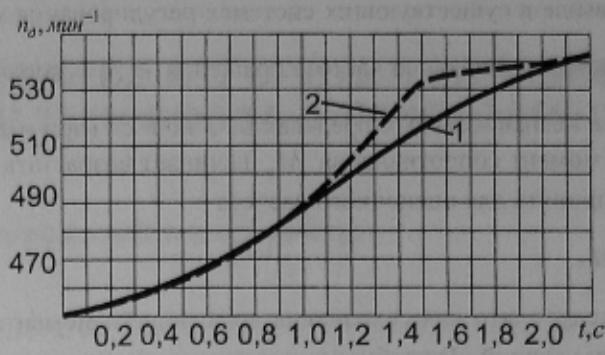


Рисунок 2 – Зависимость частоты вращения вала дизеля от времени при переключении контроллера машиниста со 2-й на 3-ю позицию:

1 – штатная схема регулирования с корректором подачи топлива; 2 – по предлагаемому алгоритму управления

Кривые $n_d = f(t)$ определяют характер зависимостей $\frac{d\omega}{dt} = f_{1,2}(n_d)$ и $\frac{d\omega}{dt} = f_{1,2}(t)$, показанных на рис.

3. При серийной схеме регулирования с корректором подачи топлива $\frac{d\omega}{dt}$ изменяется в пределах $3-6 \text{ c}^{-2}$ и имеет в середине диапазона явно выраженный максимум. По предлагаемому алгоритму угловое ускорение $\frac{d\omega}{dt}$ меняется пропорционально от 1 c^{-2} до $7,5 \text{ c}^{-2}$ при выходе на частоту вращения вала дизеля установленной позиции контроллера.

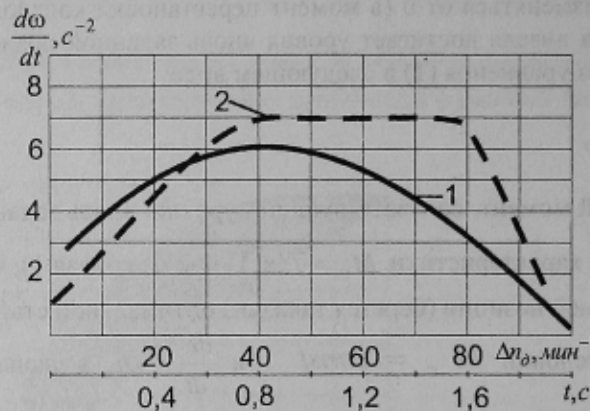


Рисунок 3 – Зависимость углового ускорения от приращения частоты вращения вала дизеля и времени:

1 – штатная система регулирования с корректором подачи топлива; 2 – по предлагаемому алгоритму управления

Кривые $\frac{d\omega}{dt} = f_{1,2}(n_d)$ определяют зависимости изменения динамического момента разгона $M_p = I_m \frac{d\omega}{dt} = f_{1,2}(n_d)$, так как $I_m = const$. На рис. 4 показаны зависимости $M_p = f_{1,2}(n_d)$ для обеих схем регулирования $M_c = \kappa n_d$ и $\frac{d\omega}{dt} \approx 3...6 \text{ c}^{-2}$ (кривая 1) и $M_c = const$ и $\frac{d\omega}{dt} = var < 7,5 \text{ c}^{-2}$ (кривая 2) дизель-генератора 2-26ДГ с моментом инерции $I_m = 359 \text{ кгм}^2$.

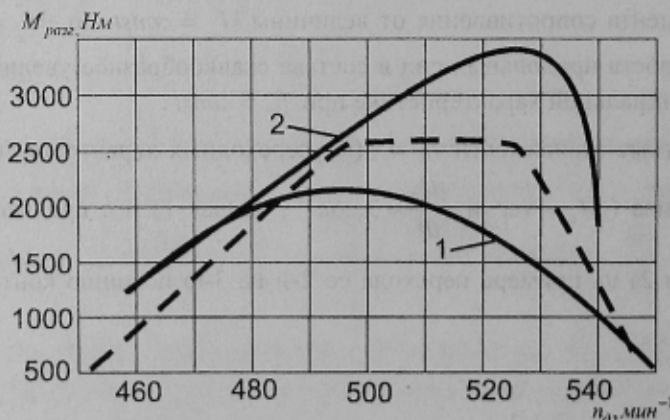


Рисунок 4 – Динамический момент, затрачиваемый на разгон вала дизель-генератора в зависимости от частоты вращения: 1 – штатная схема регулирования; 2 – по предлагаемому алгоритму управления

Согласно формулы расчета вращающего момента (1) необходимо зависимости $M_c = \text{var} = kn_\omega$ и $I_m \frac{d\omega}{dt} = f_1(n_\omega)$ для штатной схемы регулирования и $M_c' = \text{const}$ и $I_m \frac{d\omega}{dt} = f_2(n_\omega)$ по предлагаемому алгоритму управления наложить друг на друга соответственно текущим значениям n_ω . Полученные зависимости вращающего момента M_ω от частоты вращения вала дизеля n_ω для обеих схем регулирования показаны на рис. 5.

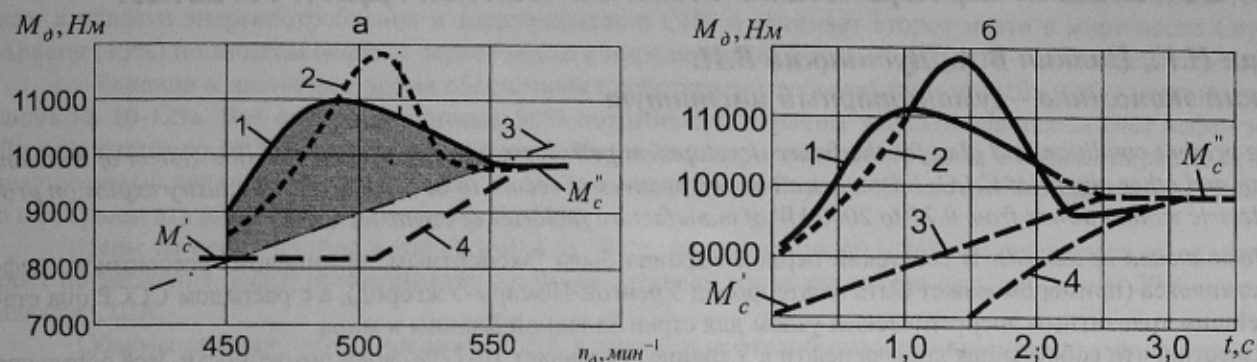


Рисунок 5 – Изменение крутящего момента от частоты вращения вала дизеля (а) и времени (б) в переходном режиме:

1 – $M_\omega = f_1(n_{\omega,t})$ для штатной схемы регулирования; 2 – $M_\omega = f_2(n_{\omega,t})$ по предлагаемому алгоритму управления; 3 – зависимость крутящего момента от частоты вращения на установившемся режиме (наиболее экономичная характеристика); 4 – изменение нагрузки по предложенному алгоритму управления

Из рис. 5 видно, что через $t = 1,2$ с момента переключения контроллера машиниста по предложенному алгоритму включалось догружение дизель-генератора моментом сопротивления от внешней нагрузки $M_c = f_2(t) = U_{\text{зад}}(t)$, (кривая 4 на рис. 5б). На этапе догружения момент сопротивления увеличивается от уровня момента предыдущей позиции M_c' до уровня установленной M_c'' по экспоненте:

$$M_c = f_2(t) \equiv U_{\text{зад}}(t) = E_\alpha (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (5)$$

где $U_{\text{зад}}$ – напряжение задания мощности; E_α – напряжение уставки по заданию мощности; τ – постоянная времени.

Кроме того, по предложенной схеме регулирования зависимость $M_\omega = f_2(n_\omega, t)$ в первой половине диапазона частоты вращения вала $n_\omega = 450 \dots 505 \text{ мин}^{-1}$ располагается ближе к оптимальной линии нагружения $M_\omega = kn_\omega$, чем при штатной схеме регулирования с одновременным нагружением и разгоном, а во второй половине диапазона, наоборот, выше (см. рис. 5).

Во многих исследованиях дизель-генераторов [1, 2] отмечалось, что первая половина переходного процесса из-за уменьшения коэффициента избытка воздуха характеризуется повышенным показателем дымности, тепловыми перегрузками и низким индикаторным КПД. В дальнейшем при росте частоты вращения вала дизеля создаются условия для разгона турбокомпрессора и увеличения давления наддува. Поэтому характеристика нагружения, которая располагается ближе к оптимальной в первой половине диапазона и выше во время стабилизации давления наддувочного воздуха, т.е. при выходе на уровень установленной мощности, является более экономичной.

Реостатные испытания тепловозов типа 2ТЭ116 в ХК «Лугансктепловоз» с измененным алгоритмом нагружения дизель-генератора подтвердили снижение дымности в переходных процессах и снижение расхода дизельного топлива в среднем на 1,5 ... 3 %.

Выводы. 1. Одной из причин повышенного расхода топлива тепловозами является несогласованность динамических режимов разгона дизеля с ростом мощности тягового генератора.

2. Предложенный алгоритм раздельного регулирования скорости вращения вала дизеля и мощности тягового генератора в переходных процессах позволял приблизить тепловозную характеристику нагружения и разгона к оптимальной линии статических режимов, что позволило уменьшить перегрузки дизеля, дымление и экономию топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коссов Е.Е., Сухопаров С.И. Оптимизация режимов работы тепловозных дизель-генераторов. – М.: Интекст, 1999. – 184 с.
2. Володин А.И., Фофанов Г.А. Топливная экономичность силовых установок тепловозов. – М.: Транспорт, 1979. – 126 с.

Рекомендовано доц., к.т.н. Гребченко Н.В.