

УДК 625.28

*Н.К. Рязанцев, д-р техн. наук, А.Б. Богаевский, канд. техн. наук, А.В. Басов, инж.,
Л.Б. Синельникова, канд. техн. наук*

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИЛОВОГО АГРЕГАТА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Основная задача, которая возложена на микропроцессорную систему управления частотой вращения и мощностью нагружения дизель-агрегата для дизель-поезда ДЭЛ-01, – это повышение технико-экономических показателей его энергетической установки с двигателями типа 6ДН [1].

Решение данной задачи предполагает использование в микропроцессорной системе оптимальных алгоритмов управления. В качестве основных критериев оптимальности были выбраны:

1. Обеспечение разгона и торможения дизель-агрегата по позициям контроллера машиниста (ПКМ) с минимально возможными отклонениями положений реек топливных насосов (ТН) от их оптимальных, с точки зрения топливной экономичности, значений при одновременном обеспечении заданного темпа увеличения и уменьшения частоты вращения коленчатого вала (КВ) дизеля.

2. Обеспечение минимальных забросов частоты вращения КВ дизеля при сбросах и набросах нагрузки на дизель-агрегат.

3. Обеспечение работы дизеля на каждой ПКМ при постоянном положении реек ТН в зоне наилучшей экономичности (при минимальных для каждой ПКМ удельных расходах топлива).

4. Обеспечение оптимальных переходных процессов нагружения генератора при изменении ПКМ, сбросах и набросах нагрузки на дизель-агрегат.

При этом, критерии 1 и 2 относятся к алгоритму контура управления частотой вращения КВ дизель-агрегата; а критерии 3 и 4 – к алгоритму контура управления мощностью нагружения дизель-агрегата.

Алгоритм управления частотой вращения КВ дизеля, реализующий астатический всережимный закон регулирования, был выбран в виде:

$$E = K_1(U_z - V_w) + K_2 \int_0^t R_w dt - K_3 \frac{dV_w}{dt},$$

$$\text{где } R_w = \begin{cases} (U_z - V_w), & \text{при } |U_z - V_w| \leq \Delta I \\ 0, & \text{при } |U_z - V_w| > \Delta I \end{cases},$$

где U_z – задание частоты вращения КВ дизеля, определяемое ПКМ;

V_w – обработанный сигнал с датчика частоты вращения КВ дизеля;

E – команда (сигнал) управления частотой вращения КВ дизеля;

ΔI – зона интегрирования;

K_1, K_2, K_3 – параметры пропорционально-интегрально дифференциального (ПИД) закона управления частотой вращения КВ.

Для обеспечения возможности варьирования темпа разгона и торможения дизель-агрегата в алгоритме предусмотрено логическое замедление задания частоты вращения (U_z) при скачкообразном изменении обработанного сигнала контроллера машиниста ($U_{кл}$), при резком изменении ПКМ, в виде соотношения:

$$T_z \frac{dU_z}{dt} + U_z = U_{кл},$$

$$\text{где } T_z = \begin{cases} T_{z1}, & \text{при } \frac{dU_z}{dt} > 0 \\ T_{z2}, & \text{при } \frac{dU_z}{dt} < 0 \end{cases},$$

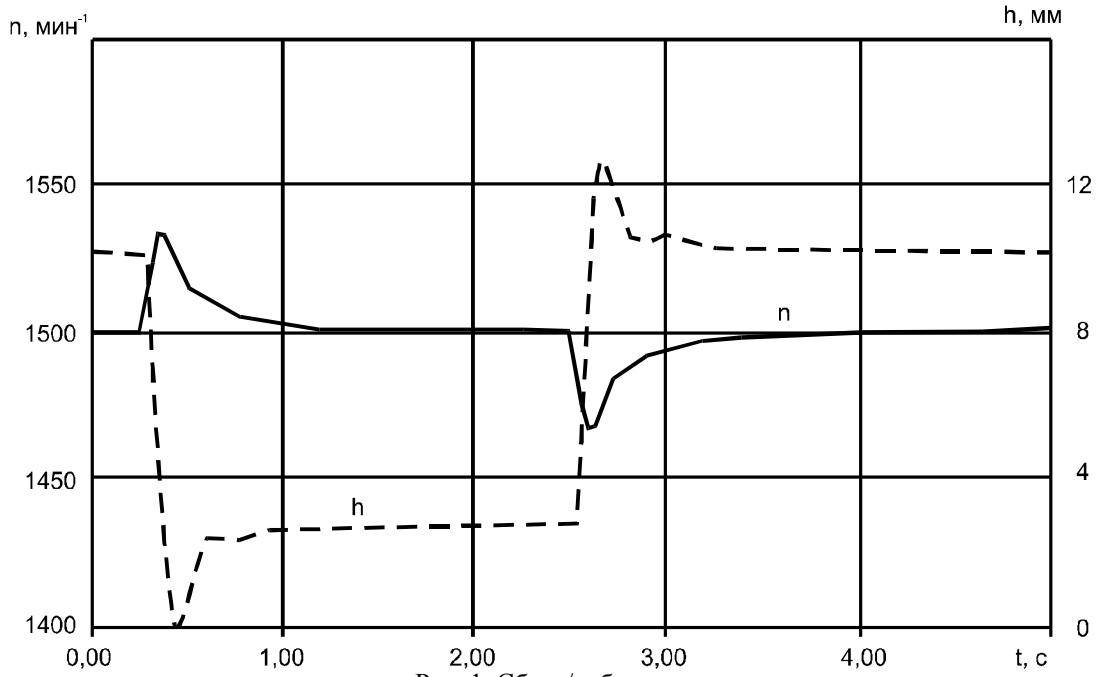
где T_{z1} и T_{z2} – постоянные времени замедления.

Оптимизация параметров алгоритма управления частотой вращения КВ дизеля ($K_1, K_2, K_3, \Delta I, T_{z1}$ и T_{z2}) осуществлялась на комплексном моделирующем стенде с реальной микропроцессорной системой управления дизель-агрегата и его математической моделью, как объекта управления, реализуемой на вычислительной машине стенда. При этом, стенд обеспечивал возможность воспроизведения всех типовых эксплуатационных режимов работы дизель-агрегата: сбросы и набросы нагрузки, разгоны и торможения по ПКМ и др.

Для оптимизации значений параметров, входящих в приведенные соотношения, были построены сечения границ устойчивости в пространстве параметров [K_1, K_2, K_3], а также проведена оценка влияния всех параметров на качество переходных процессов, как по частоте вращения, так и по положению реек ТН при изменениях ПКМ, а также при сбросах и набросах нагрузки.

В результате были определены:

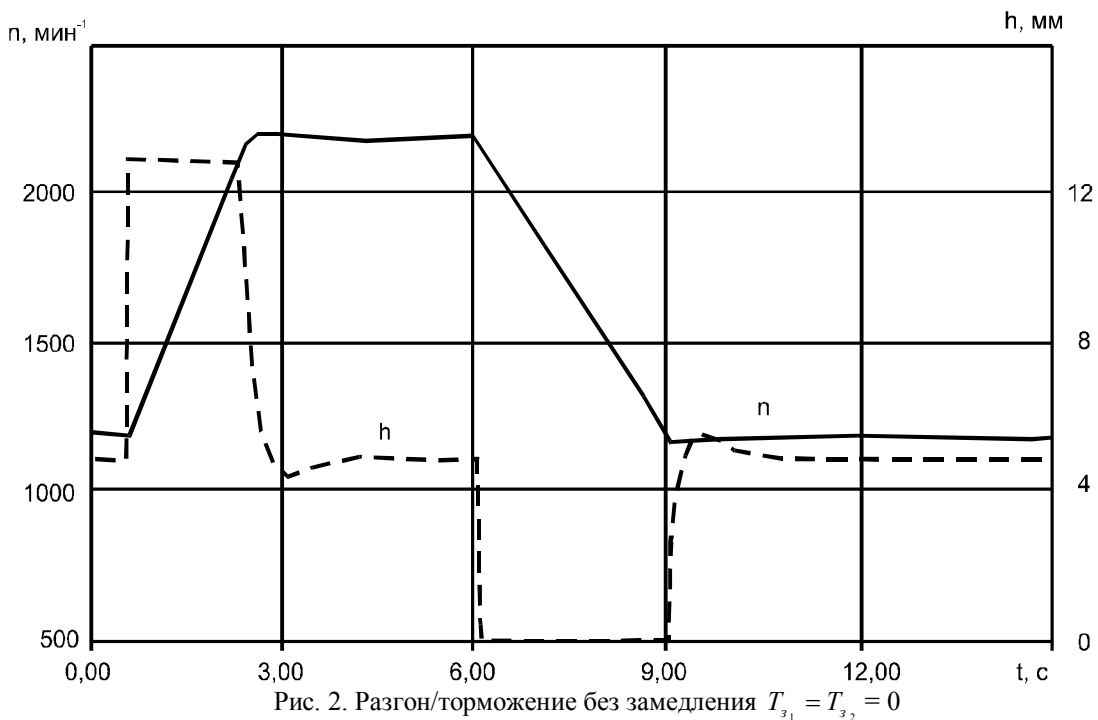
- оптимальные значения параметров ПИД закона управления ($K_1 = 3...4,5$; $K_2 = 1/64$; $K_3 = 16$), при которых обеспечивалась устойчивая работа дизель-агрегата на всех режимах его работы, и переходный процесс при 100% сбросе нагрузки происходил без колебаний, с забросом частоты вращения КВ дизеля менее 2% (34 мин⁻¹), время переходного $\tau = 1$ с (переходный процесс приведен на рис. 1);



- параметры замедления T_{β_1} и T_{β_2} , а также зона интегрирования ΔI ($T_{\beta_1} = T_{\beta_2} = 5$ с и $\Delta I = 150$ мин⁻¹), при которых получено минимальное отклонение реек ТН от их заданных (оптимальных) значений при разгоне (с $n = 1200$ мин⁻¹ до $n = 2200$ мин⁻¹) и торможении (с $n = 2200$ мин⁻¹ до $n = 1200$ мин⁻¹) без выхода на внешнюю характеристику - на 4,5 мм и в положении "стоп" - на 2,5 мм при заданном темпе разгона и торможения $\tau = 16$ с (сравнительные переходные

процессы без замедления и с замедлением приведены на рис. 2 и 3).

Оптимальное, с точки зрения удельного расхода топлива, значение положения реек ТН (h_{opt}) на каждой ПКМ обеспечивается контуром управления мощностью нагружения дизель-агрегата. При этом, параметром регулирования в данном контуре является величина положения реек ТН (h_{uzm}), определяющая для каждой частоты вращения КВ дизеля (n_{kv}) (для каждой ПКМ) степень загрузки дизель-агрегата.



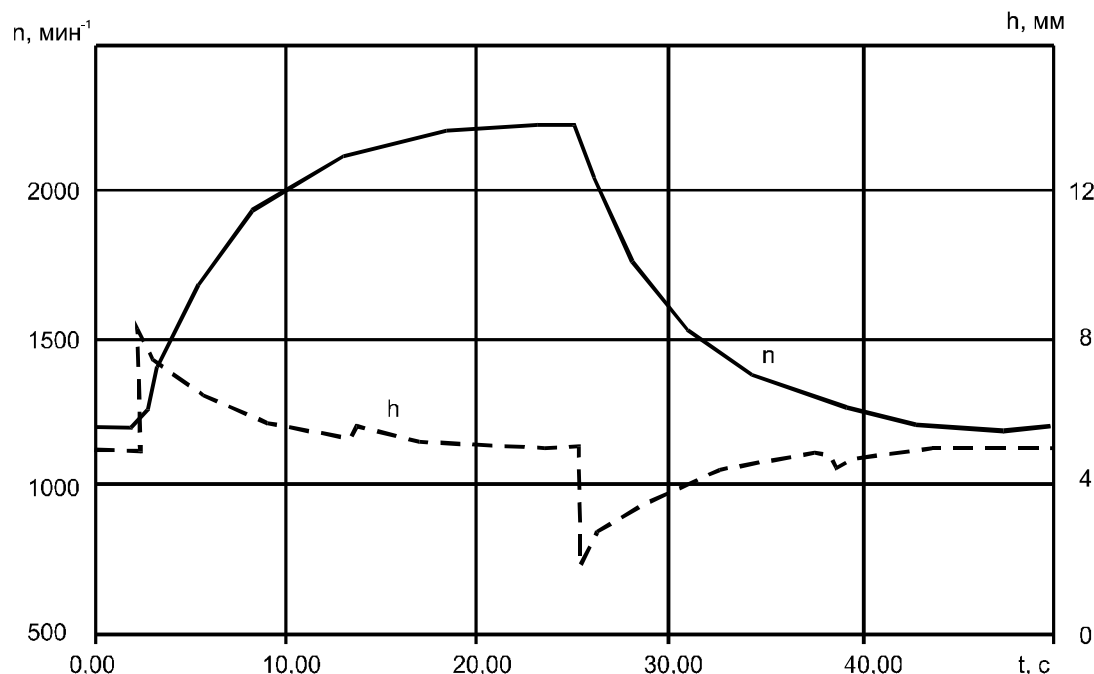


Рис. 3. Разгон/торможение при $T_{з1} = T_{з2} = 5$ с

Зависимость $h_{опт} = f(n_{ке})$, экспериментальная или расчетная, заносится в память блока микропроцессорной системы управления в виде таблицы или эмпирической формулы. Поддержание постоянного оптимального значения ($h_{опт}$) на каждой ПКМ осуществляется за счет формирования сигнала $U_{возб}$ в виде напряжения, поступающего в систему управления возбуждением генератора.

Алгоритм формирования управляющего сигнала $U_{возб}$ при работе на i -й ПКМ ($\frac{dU_z}{dt} = 0$) принят в виде:

$$U_{возб} = K_5(h_{опт} - h_{изм}) + K_6 \int_0^t (h_{опт} - h_{изм}) dt$$

где $h_{изм}$ - текущее положение реек ТН (обработанный сигнал с датчика положения реек ТН).

На каждой ПКМ величина $U_{возб}$ ограничена ($0 \leq U_{возб} \leq R_i$) с целью предотвращения перегрузки дизеля. Параметры K_5 и K_6 определены из условия обеспечения минимальных отклонений реек ТН от их оптимальных значений $h_{опт}$ при сбросах и набросах нагрузки на дизель-агрегат.

При переключении ПКМ величина $U_{возб}$ ограничена согласно следующему алгоритму:

$$U_{возб} = \begin{cases} \leq R_i, & \text{при переходе с } i\text{-й} \\ & \text{на } (i+1)\text{-ю ПКМ } (\frac{dU_z}{dt} > 0) \\ \leq R_{i-1}, & \text{при переходе с } i\text{-й} \\ & \text{на } (i-1)\text{-ю ПКМ } (\frac{dU_z}{dt} > 0) \end{cases}$$

Приведенный алгоритм определяет следующее протекание переходного процесса нагружения

дизель-агрегата при переключении ПКМ:

- при переходе с нижней ПКМ на более высокую вначале увеличивается частота вращения КВ дизеля до заданного значения, а затем осуществляется с заданным темпом нагружение генератора, определяемое величиной ограничения $U_{возб}$ для более высокой ПКМ;

- при переходе с высшей ПКМ на низшую уменьшение $U_{возб}$ происходит скачкообразно до ограничения, соответствующего низшей ПКМ.

Реализованный алгоритм управления мощностью нагружения дизель-агрегата обеспечивает оптимальное, с точки зрения топливной экономичности, управление процессом нагружения.

Таким образом, микропроцессорная система управления дизель-агрегата с оптимизированными алгоритмами и их параметрами обеспечивает: улучшение топливной экономичности, снижение дымности и токсичности выхлопных газов за счет эксплуатации дизель-агрегата в зоне наилучшей экономичности без выхода на внешнюю характеристику; заданный (плавный, без рывков) темп разгона и торможения дизель-поезда по ПКМ без забросов частоты вращения; минимальные ($\leq 2\%$) забросы частоты вращения при 100% сбросе нагрузки на дизель-агрегат.

Список литературы:

1. А.Б.Богаевский, А.В.Басов, В.З.Дубровский, Л.Б.Синельникова, Ю.С.Бородин. Микропроцессорная система управления частотой вращения и мощностью дизель-генераторной установки дизель-поезда ДЭЛ-01. Вестник национального технического университета "ХПИ", 26, 2001.