

А.Н. БОРИСЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»
Б.И. КУБРИК, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»
А.Б. БОГАЕВСКИЙ, д-р техн. наук, проф. ХНАДУ;
О.В. ЛАВРИНЕНКО, преп.-стаж., НТУ «ХПИ».

ПОСТРОЕНИЕ ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Статья посвящена созданию обобщенной структуры и построению математических моделей преобразователей параметров движения топливodoзирующего органа и скорости вращения турбокомпрессора дизель – генераторной установки с наддувом в массу дополнительного воздуха, подаваемого в дизель при набросе нагрузки.

Ключевые слова: математическая модель, дизель, клапан, двигатель.

Постановка проблемы. Дизель-электрические агрегаты получили широкое распространение в качестве источников электрической энергии во многих отраслях народного хозяйства. Для повышения энергетических показателей эти установки снабжаются автономным турбокомпрессором, подающим воздух в дизель и улучшающим, тем самым, процесс сгорания и превращения энергии топлива механическую работу. Однако в переходных режимах работы, вызванных набросами нагрузки, турбокомпрессор вследствие своей инерциальности не успевает в полной мере наращивать подачу наддувочного воздуха и рабочий процесс дизеля протекает неудовлетворительно [1]. Для улучшения последнего обеспечиваются специальные мероприятия по дополнительному воздухоснабжению дизеля [2].

Анализ литературы показывает, что в настоящее время уже имеются некоторые технические решения, обеспечивающие дополнительное воздухоснабжение дизель – генераторов с газотурбинным наддувом в переходных режимах работы [3 - 6], с учетом ряда управляющих и возмущающих воздействий. При этом, однако, отсутствует обобщенная структура преобразователя соответствующих параметров в массу дополнительного воздуха и математические модели происходящих при этом процессов.

Цель статьи. Построение математической модели и синтез обобщенной структуры преобразователя параметров управления и режима работы дизель – генератора при массе дополнительно подаваемого воздуха.

Составим математическую модель процессов, описанных в [7 - 9].

На работающем двигателе измеряются скорость движения топливodoзирующего органа $V_{НР}$ и угловая скорость турбокомпрессора ω_k с помощью датчиков, выходные сигналы которых можно записать как

$$U_{HP} = K_{HP} V_{HP} \quad (1)$$

$$U_{TK} = K_{TK} \omega_k, \quad (2)$$

где K_{HP} – коэффициент передачи датчика скорости топливodoзирующего органа, K_{TK} – коэффициент передачи датчика угловой скорости ТК.

Разностный сигнал этих датчиков интегрируется

$$U = \frac{1}{T_H} \int_{t_0}^{t_k} (K_{HP} V_{HP} - K_{TK} \omega_k) dt > 0, \quad (3)$$

где T_H – постоянная интегратора, и после усиления подается на обмотку электродинамического преобразователя (ЭДП), управляющего запорным клапаном дополнительного воздухообеспечения.

Перемещение якоря ЭДП определяется по формуле

$$X_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{K_{\text{ЭМ}} V_{\text{Э}}}{D_3}, \quad (4)$$

$$\text{где } D_3 = \left(T_3 \frac{di}{dt} + 1 \right) \left(T_1^2 \frac{d^2 X}{dt^2} + T_2 \frac{dX}{dt} + 1 \right);$$

T_3 – электрическая постоянная времени электромагнита;

i – мгновенное значение тока в обмотке электромагнита;

X – перемещение якоря электромагнита;

$$T_1 = \sqrt{\frac{m}{k_{\Pi}}};$$

$$T_2 = \frac{\eta_{\text{ЭМ}}}{k_{\Pi}};$$

V_3 – напряжение на обмотке электромагнита;

k_{Π} – жесткость пружины электромагнита;

m – масса подвижных частей электромагнита;

$K_{\text{ЭМ}}$ – коэффициент передачи электромагнита;

$\eta_{\text{ЭМ}}$ – коэффициент демпфирования электромагнита.

$V(t) = K_{\text{PEC}} X(t)$, где K_{PEC} – коэффициент пропорциональности между выходным сечением клапана и перемещением якоря электромагнита.

Подача дополнительного воздуха приводит к увеличению давления наддува

$$P_S = P_{TK} + K_b K_{\text{PEC}} X(t), \quad (5)$$

где P_{TK} – давление наддува, создаваемое турбокомпрессором;

K_b – коэффициент пропорциональности между массой и давлением дополнительного воздуха.

При резком увеличении топливоподачи в случае наброса нагрузки сигнал (3) растет, поскольку ω_k изменяется много медленнее цикловой подачи топлива (на реальном двигателе), вызывает увеличение хода клапана, согласно (4), и подачу дополнительного воздуха в дизель, масса которого равна с учетом (3), (4), (5)

$$Q_D(t) = \frac{K_{pec}}{T_{II}} \cdot \frac{K_{ЭДП} \int_{t_0}^{t_k} (K_{HP} V_{HP} - K_{TK} \omega_k) dt}{D_3} \quad (6)$$

где $K_{ЭДП}$ – коэффициент передачи электродинамического преобразователя по перемещению.

Подача дополнительного воздуха приводит к росту ω_k , что ранее уже отмечалось, и уменьшению напряжения (3). Увеличение ω_k влечет за собой возрастание P_{TK} , а снижение напряжения на обмотке исполнительного органа (электромагнитного или электродинамического преобразователя) – снижение массы дополнительного воздуха Q_D . Однако

$$P_s = P_{TK} + K_b Q_D \approx const \quad (7)$$

При выходе дизеля в установившийся режим работы $K_{HP} V_{HP} = K_{TK} \omega_k$ и дополнительное воздухообеспечение согласно (3) отсутствует.

Таким образом, в рассмотренной модели $Q_D = Q_D(P_{TK}, h_p)$, благодаря чему имеет место согласование топливоподачи и воздухообеспечения дизеля в переходных режимах.

При плавном перемещении или неподвижном органе управления топливоподачей неравенство (3) не выполняется и дополнительный воздух не подается. Модель процессов, описанных в [8], отличается от рассмотренной выше в связи с двумя обстоятельствами. Во-первых, в переходном режиме дизеля, вызываемом набросом нагрузки, напряжение на обмотке запорного органа зависит еще и от разности фактического и минимально допустимого давлений в источнике сжатого воздуха, но не зависит от текущего значения угловой скорости ротора турбокомпрессора ω_k , во-вторых, отключение подачи дополнительного воздуха при окончании переходного процесса происходит при достижении частотой ω_k некоторого порогового значения. Таким образом, можно записать

$$U = \frac{1}{T_{II}} \int_{t_0}^{t_k} K_{HP} V_{HP} dt + K_{ДД} (P_{ИН} - P_{ИФ}) \quad (8)$$

где $K_{ДД}$ – коэффициент передачи датчика давления;

$P_{ИН}$ – минимально допустимое давление в источнике сжатого воздуха;

$P_{ИФ}$ – фактическое давление в источнике сжатого воздуха.

С учетом (8) вместо (6) запишем соотношение

$$Q_D = \frac{K_{pec}}{T_{II}} \cdot \frac{K_{ЭДП} \int_{t_0}^{t_k} K_{HP} V_{HP} dt - K_{ДД} (P_{ИИ} - P_{ИФ})}{D_3} \quad (9)$$

Кроме того, для момента отключения дополнительного воздухооборота имеем $Q_D = 0$ при $\omega_k = \omega_{кл}$,

где $\omega_{кл}$ – пороговое значение угловой скорости турбокомпрессора.

Процесс управления двигателем [9] отличается от предыдущего тем, что напряжение на обмотке органа управления дополнительным воздухооборотом описывается по закону:

$$U = \frac{1}{T_{II}} \int_{t_0}^{t_{ин}} (K_{HP} V_{HP} - K_{ДД} P_{ИФ}) dt \quad (10)$$

где t_{HP} – время перемещения топливодозировочного органа.

Обобщенная блок – схема устройства подачи дополнительного воздуха в дизель показана на рис. 1.

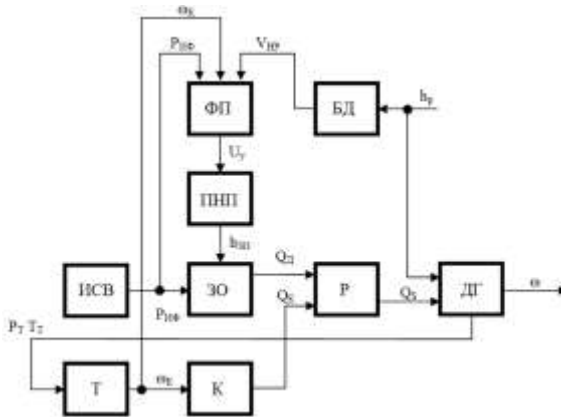


Рис. 1 – Обобщенная блок-схема устройства подачи дополнительного воздуха:

ФП – функциональный преобразователь;

БД – блок дифференцирования;

ПНП – преобразователь «напряжение – перемещение»;

ИСВ – источник сжатого воздуха;

ЗО – запорный орган;

Р – ресивер;

ДГ – дизель – генератор;

Т – турбина;

К – компрессор;

h_p, V_{HP} – выход рейки топливодозировочного органа и скорость его движения;

ω , ω_K – угловая скорость дизель – генератора и компрессора;
 P_T , T_T – давление и температура газов перед турбиной;
 Q_K , Q_S , Q_D – суммарный расход, расход наддувочного и дополнительного воздуха;
 U_y – напряжение управления;
 h_{30} – перемещение запорного органа;
 $P_{ИФ}$ – фактическое давление в источнике сжатого воздуха.

Выражения (6), (9) и (10) представляют собой математические модели, достаточно полно описывающие процессы преобразования основных параметров, таких, как скорость движения топливоподогревающего органа, угловую скорость турбокомпрессора, фактическое и номинальное давления в источнике сжатого воздуха, коэффициенты передачи и постоянные времени ресивера и электродинамического преобразователя и др. в массу дополнительного подаваемого в дизель сжатого воздуха. Эти модели легли в основу создания обобщенной структуры устройства подачи дополнительного воздуха, показанной на рисунке.

Выводы. На основании разработанных математических моделей синтезирована обобщенная структура преобразователя, обеспечивающего дополнительное воздухообеспечение дизель – генератора при набросе нагрузки и, тем самым, повышающего его технико – экономические показатели.

Список литературы: 1. Костромин А.М. Оптимальное управление локомотивом. – М.: Транспорт, 1979. – 119с. 2. Колыбин Ю.Н. Квазиоптимальные электронные регуляторы переходных режимов стационарных дизель-генераторов с дополнительным воздухообеспечением: Автореферат дис. на соискание степени кандидата технических наук/ Харьковский политехнический институт. – Харьков, 1986. – 18с. 3. Богаевский А.Б. Повышение топливной эффективности мощной транспортной дизельной установки за счет применения микроконтроллерного регулятора частоты вращения и мощности. / А.Б. Богаевский // Сборник доклады, XI научно – техническая конференция с международно участие, «Транспорт, экология - устойчиво развитие», ЕкоВарна. – 2005. – с. 459 – 463. 4. Богаевский А.Б. Определение параметров управления мощной транспортной дизель – генераторной установкой в переходных режимах. / А.Б. Богаевский // Вестник НТУ «ХПИ», тем. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». Харьков. – 2005. - №45. – с. 291 – 292. 5. Богаевский А.Б. Применение электромагнитных исполнительных двигателей пропорционального типа в системах автоматического регулирования частоты транспортных дизелей / А. Б. Богаевский, А.В. Басов, С.Г. Буряковский // В кн. «Проблемы автоматизированного электропривода». Труды н. – тех. конф. Харьков. – 1997. с. 259 – 260. (Автором запропонована модель електричного виконавчого органу як елементу системи забезпечення подачі палива). 6. Богаевський О.Б. Оптимізація перехідних процесів теплових дизелів з застосуванням електронних керуючих систем. / Е.Д. Тартаковський, В.О. Матяш, О.Б. Богаевський, Д.О. Аулін. // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ. – 2007. – вип. 86. – с. 177 – 181. (Автором показані переваги електронних систем при забезпеченні перехідних режимів тепловозів). 7. Устройство для регулирования подачи дополнительного воздуха в двигатель внутреннего сгорания: А.с. 1495474. СССР. МКИ F02D41/10,23/02/ Борисенко А.Н., Колыбин Ю.Н. –№4238090/25-06; Заявл.28.04.87; Оpubл.23.07.89. Бюл. № 27. – 3 с.:ил. 8. Пристрій керування дизелем з наддуванням : Деклараційний патент на корисну модель. № 8373. М. Кл. F02D43/00 41/00. Оpubл. 15.08.2005. Бюл. №8. / Кравец В.О., Колибін Ю.М., Ріттер А.В. 9. Пристрій для керування дизелем з наддуванням: Патент на корисну модель №35848, Україна, 2008 : Кравец В.О., Колибін Ю.М., Запольський М.Й., Баленко О.І.

Bibliography (transliterated): 1. *Kostromin A.M.* Optimal'noe upravlenie lokomotivom. – M.: Transport, 1979. – 119s. 2. *Kolybin Ju.N.* Kvazioptimal'nye jelektronnye reguljatory perehodnyh rezhimov stacionarnyh dizel'-generatorov s dopolnitel'nym vozduhosnabzheniem: Avtoreferat dis. na soiskanie stepeni kandidata tehniceskikh nauk/ Har'kovskij politehniceskij institut. – Har'kov, 1986. – 18s. 3. *Bogaevskij A.B.* Povyshenie toplivnoj jeffektivnosti moshhnoj transportnoj dizel'noj ustanovki za schet primeneniya mikrokontrollernogo reguljatora chastoty vrashhenija i moshhnosti. / A.B. Bogaevskij // Sbornik dokladi, XI nauchno – tehnicheska konferencija s mezhdunarodno uchastie, «Transport, ekologija - ustojchivo razvitie», EkoVarna. – 2005. – s. 459 – 463. 4. *Bogaevskij A.B.* Opredelenie parametrov upravlenija moshhnoj transportnoj dizel' – generatornoj ustanovkoj v perehodnyh rezhimah. / A.B. Bogaevskij // Vestnik NTU «HPI», tem. vyp. «Problemy avtomatizirovannogo jelektroprivoda. Teorija i praktika». Har'kov. – 2005. - №45. – s. 291 – 292. 5. *Bogaevskij A.B.* Primenenie jelektromagnitnyh ispolnitel'nyh dvigatelej proporcional'nogo tipa v sistemah avtomaticheskogo regulirovanija chastoty transportnyh dizelejju / A. B. Bogaevskij, A.V. Basov, S.G. Burjakovskij // V kn. «Problemy avtomatizirovannogo jelektroprivoda». Trudy n. – teh. konf. Har'kov. – 1997. s. 259 – 260. 6. *Bogaev'skij O.B.* Optimizacija perehidnih procesiv teplovoznih dizeliv z zastosuvannjam elektronnih kerujuchih sistem. / E.D. Tartakovs'kij, V.O. Matjash, O.B. Bogaevs'kij, D.O. Aulin. // Zb. nauk. prac'. – Harkiv: UkrDAZT. – 2007. – vip. 86. – s. 177 – 181. 7. Ust-rojstvo dlja regulirovanija podachi dopolnitel'nogo vozduha v dvigatel' vnutrennego sgoranija: A.s. 1495474. SSSR. MKI F02D41/10,23/02/ Borisenko A.N., Kolybin Ju.N. –№4238090/25-06; Zajavl.28.04.87; Opubl.23.07.89. Bjul. № 27. – 3 s..il. 8. Pristrij keruvannja dizelem z nadduvannjam : Deklaracijnij patent na korisnu model'. № 8373. M. Kl. F02D43/00 41/00. Opubl. 15.08.2005. Bjul. №8. / Kravec' V.O., Kolibin Ju.M., Ritter A.V. 9. Pristrij dlja keruvannja dizelem z nadduvannjam: Patent na korisnu model' №35848, Ukraina, 2008 : Kravec' V.O., Kolibin Ju.M., Zapolovs'kij M.J., Balenko O.I.

Поступила (received) 12.12.2013