

# МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА СИСТЕМА ЗА АВТОМАТИЧНО РЕГУЛИРАНЕ ЧЕСТОТАТА НА ВЪРТЕНЕ НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ С ВСЕРЕЖИМЕН РЕГУЛАТОР

Иванка МОНЕВА Деян АТАНАСОВ Стойко ПЕХЛИВАНОВ Стоян ГЕОРГИЕВ

ТУ - София, ИПФ - Сливен  
Бул. Бургаско шосе 59; 8800 Сливен, БЪЛГАРИЯ  
imoneva@abv.bg

*В настоящата работа е разработен математичен модел за определяне на статичните характеристики на дизелов двигател с всережимен регулатор. Изведени са основните зависимости за определяне на цикловото подаване на горивонагнетателната помпа (ГНП), координатата на дозирация елемент на ГНП и на муфата на регулатора. Предложена е методика за проверка на тези зависимости на регулаторните участъци. Резултатите са представени в графичен вид и са сравнени с експерименталните зависимости.*

**Ключови думи:** система за автоматично регулиране, дизелов двигател, горивонагнетателна помпа (ГНП), статични характеристики.

**Въведение:** Основен източник на енергия в транспортните средства се явяват двигателите с вътрешно горене (ДВГ). Усъвършенстването на тези двигатели е важна задача. Степента на съвършенството им се оценява с тяхната мощност, икономичност, динамичност и др.

Двигателите работят при променливо натоварване, вследствие на което те трябва да развиват съответно на натоварването въртящ момент, а следователно и мощност. Условието на работа при постоянно натоварване и постоянен скоростен режим на двигателя са редки и за кратко време.

Следователно двигателите на транспортните машини работят при променливо натоварване и скоростен режим т.е. в преходни режими, които се изменят в широки граници.

Доказано е, че при променливо натоварване на дизеловите двигатели динамичните им качества се нарушават, вследствие на което се намалява използваната мощност (за някои двигатели е над 20%). Това води до намаляване на производителността на транспортното средство и увеличаване на разхода на гориво.

Съществуват няколко начина за повишаване на неизползваната мощност. Един от тях е чрез повишаване качеството на регулиране на честотата на въртене на двигателя.

В настоящата работа обект на изследване е дизелов двигател с всережимен регулатор.

Целта е - създаване на механо-математичен модел на системата „дизелов двигател-всережимен регулатор”.

Всережимният регулатор поддържа произволно избран скоростен режим на двигателя независимо от външното съпротивление.

## Механо-математичен модел:

На фиг. 1 е показана принципна схема на всережимен регулатор. Центробежната сила, която се създава от чувствителния елемент 1 чрез муфа 2 и лост 3 се предава към пружина 5 на регулатора. Горният край на лост 3, чрез лостов механизъм е свързан с дозирация елемент 4.

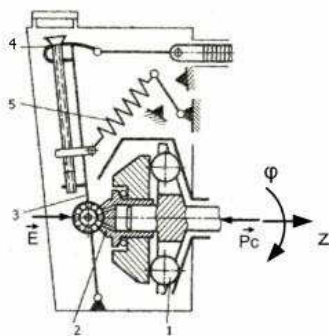
При промяна на честотата на въртене на дизеловия двигател  $n_d$  пружина 5 се деформира и премества дозатора, който променя цикловото подаване  $q_{ц}$  т.е. при увеличаване на  $n_d$  се намалява  $q_{ц}$ .

Показаната схема представлява модел с две степени на свобода:  $\varphi$  - ъгъл на завъртане на колянвия вал и  $z$  - координатата на положението на муфата.

За построяване на статическите характеристики на ГНП с всережимен регулатор е съставен математичен модел.

За входни данни са приети:

- честотата на въртене на ГНП, съответстваща на началото на работа на регулатора  $n_{н,н}$ ;
- цикловото подаване при  $n_{н,н}$   $q_{ц}$ ;



Фиг. 1. Принципно схем на всережимен регулатор.

По експериментален път (на безмоторен стенд Star-12) се определя скоростната характеристика на цикловото подаване, като функционална зависимост  $q_{ц} = q_{ц}(h_{н}, n_{н})$ .

В тази зависимост  $h_{н}$  е осовата координата на положението на дозиращия орган, а  $n_{н}$  - честота на въртене на вала на ГНП.

Честотата на въртене на вала на ГНП е

$$n_{н} = i_{н} \cdot n_{д},$$

където  $i_{н} = 0,5$  - предавателно отношение от коляновия вал към ГНП.

Експерименталната зависимост  $q_{ц} = q_{ц}(h_{н}, n_{н})$  е апроксимирана и е получен полинома [Монева И.К. 1988].

$$q_{ц} = K_q \left( \frac{a_{q1} + a_{q2} \cdot n_{н} + a_{q3} \cdot h_{н} + a_{q4} \cdot n_{н} + a_{q5} \cdot h_{н} + a_{q6} \cdot n_{н} \cdot h_{н}}{a_{q5} \cdot h_{н} + a_{q6} \cdot n_{н} \cdot h_{н}} \right)$$

където  $a_{q1} \div a_{q6}$  - коефициенти на апроксимацията;  $K_q$  - коефициент, отчитащ намаленото гориво подаване при работа на ГНП с дизеловия двигател по сравнение с гориво подаването на безмоторния стенд.

Силите, които действат върху елементите на регулатора са приведени към оста на муфата (фиг. 1)

Възстановяващата сила  $E$  се получава от привеждането на силите на масата на елементите на регулатора и силата на пружината [Крутов 1978, Крутов В.И., 1979].

Възстановяващата сила е функция от положението на муфата на чувствителния елемент и се определя по зависимостта:

$$E = i_p^2 \cdot C_p (z_{пр} + z - z_{н,н}),$$

където  $i_p$  - предавателно отношение от муфата към пружината на регулатора;  $z_{пр}$  - значение на положението на муфата, определено от предавателната деформация на пружината;  $z$  - текущо значение на положението на муфата на регулатора;  $z_{н,н}$  - координата на положението на муфата на номинален режим;  $C_p$  - пружинна константа.

При всережимните регулатори деформацията на пружината в процеса на работа се сумира от предавателна деформация определена от лоста за задаване на режимите (т.е. от педала на газта) т.е.

$$E = E_0 + b \cdot \Delta z,$$

където  $E_0$  - начално значение на  $E$  определено от предварителната деформация на пружината;  $b = i_p^2 \cdot C_p$  - приведена пружинна константа към муфата.

При работа на регулатора се появява сила, която поддържа муфата в някакво междинно равновесно положение и се нарича поддържаща. За механичните чувствителни елементи такава сила се явява центробежната сила на тежестите на регулатора приведена към оста на муфата [Крутов 1978, Крутов В.И., 1979].

Тази сила действа по оста на въртене на муфата и има вида

$$P_c = A \cdot (1 + a \cdot z) \cdot n_{н}^2,$$

където  $A, a$  - размерни коефициенти.

Изразът  $A \cdot (1 + a \cdot z)$  се нарича инерционен коефициент.

Уравнението на статическото равновесие на муфата на регулатора има вида

$$P_c(n_{н}, z) = E(z_{пр}, z),$$

За определяне на пружинната константа при известен наклон на външната регулаторна характеристика и преобразувания в зависимостите за  $E$  и  $P_c$ , получаваме зависимостта

$$C_p = \frac{A \cdot n_{н, \max}^2 (1 + a \cdot z_x) - A \cdot n_{н, н}^2 (1 + a \cdot z_{н, н})}{i_p^2 \cdot (z_x - z_{н, н})},$$

където  $n_{н, н}$  - номинална честота на въртене на ГНП;  $n_{н, \max}$  - максимална честота на въртене на ГНП;  $z_{н, н}$  - положение на муфата, съответстващо на номиналната честота на въртене на ГНП;  $z_x$  - координата на муфата при изключено циклово подаване.

От уравнението на статическото равновесие на муфата за външната регулаторна характеристика при номинална честота на

въртене на ГНП, съответно  $z_{н,н}$  изчисляваме предварителната деформация на пружината на регулатора

$$z_{пр} = \frac{A \cdot n_{н,н}^2 (1 + a \cdot z_{н,н})}{i_p^2 \cdot C_p},$$

Връзката между положението на муфата и дозирация орган е следната

$$h_n = h_{н,н} - (z - z_{н,н}) i_{МД},$$

където  $h_{н,н}$  - коефициента на дозирация орган при номинална честота  $n_{н,н}$ ;  $i_{МД}$  - предавателно отношение от муфата на регулатора към дозирация орган на ГНП.

#### Числен и натурен експеримент:

Проведен е числен експеримент за определяне на външната характеристика при следните данни

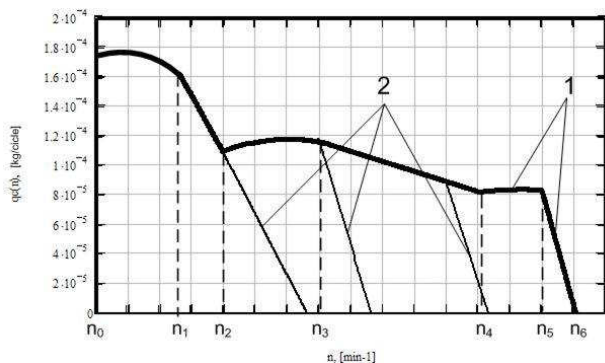
$$n_{н,н} = n_{н,мин} = 1050 \text{ min}^{-1}; n_{н,макс} = 1130 \text{ min}^{-1}$$

$$z_{н,н} = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}; z_x = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_{н,н} = 1,776 \cdot 10^{-3} \text{ m}; q_{ц,н} = 21,6 \text{ cm}^3 / 200 \text{ ед}$$

$$i_p = 0,87; i_{МД} = 0,94$$

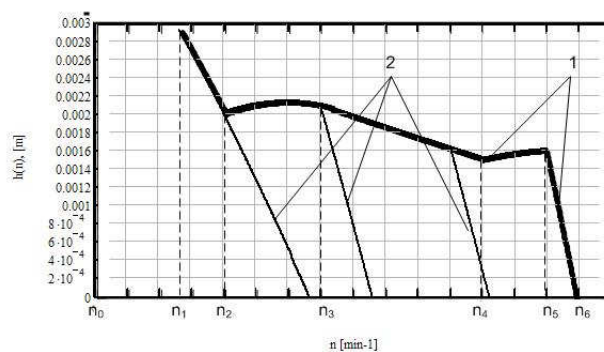
Численият експеримент е проведен с помощта на програмните продукти MATCAD и MATLAB, като резултатите са показани на фиг. 2,3,4 и 5.



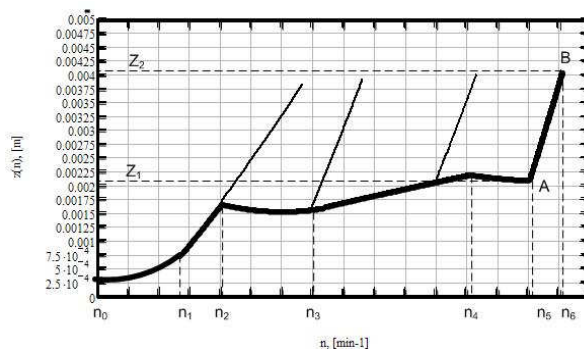
Фиг. 2. Изменение на цикловото подаване от честотата на въртене на вала на ГНП

От фиг. 2 ясно се вижда, че външната характеристика (линия 1) може да се раздели на участъци. На първия участък  $n_0 - n_1$  е включено пусковото подаване. На участъка  $n_1 - n_2$  центробежната сила деформира пружината на обогатителя и премества дозатора за понижаване на цикловото подаване. Следва участъка  $n_2 - n_3$ , когато дозатора е в равновесие и се формира външната характеристика, а на участък  $n_3 - n_4$  действа коректорна пружина. В интервала  $n_4 - n_5$

дозатора е в равновесие, а на участък  $n_5 - n_6$  действа регулаторна пружина 5.



Фиг. 3. Изменение на положението на дозатора от честотата на въртене на вала на ГНП



Фиг. 4. Зависимост на положението на муфата на регулатора от честотата на въртене на вала на ГНП

На фигурите 3 и 4 са показани характера на изменение на положението съответно на дозатора  $h$  и на муфата на регулатора  $z$ .

От фиг. 4 се вижда положението на муфата в началото (т. А) и края (т. В) на действие на регулаторната характеристика. Стойностите са съответно

$$z_1 = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m};$$

$$z_2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

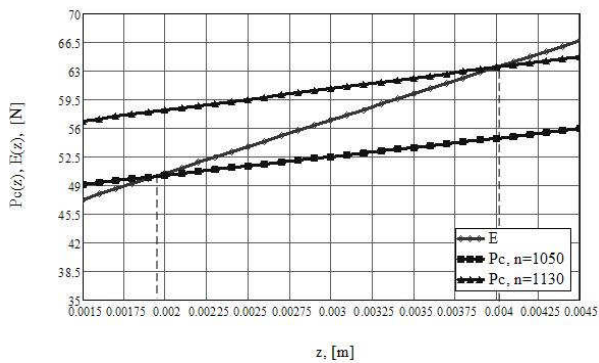
Верността на тези данни е потвърдена от следната проверка.

От уравнението на статичното равновесие  $P_c - E = 0$  определяме равновесното положение на муфата. За целта построяваме на една графика  $P_c = f(z)$  съответно при  $n_{н,мин} = 1050$  и  $n_{н,макс} = 1130$  и  $E = f(z)$ . Пресечните точки на кривите показват равновесното положение на муфата.

От фиг. 5 ясно се вижда, че пресечните точки съвпадат с  $z_1$  и  $z_2$ . Това потвърждава верността на математическия модел.

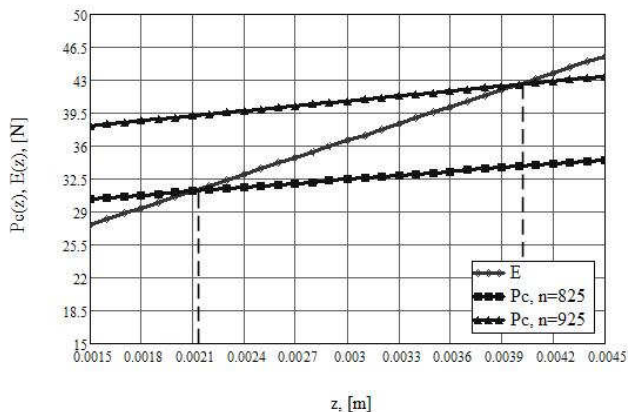
Адекватността на проведения числен експеримент е потвърдена с натурен

експеримент на  $q_{ц} = q_{ц}(n_n, h_n)$  (фиг. 7) за външната характеристика.



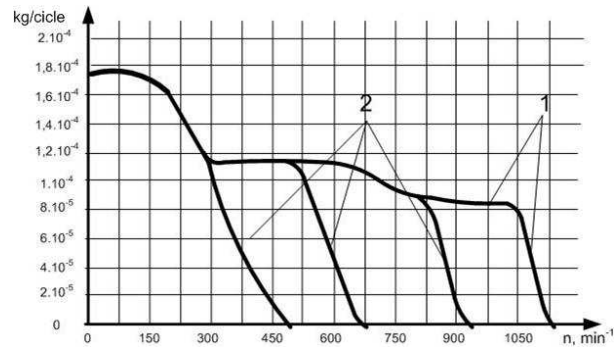
Фиг. 5. Определяне на равновесното положение на муфата при  $n = 1050$  и  $n = 1130$

Проведени са числени експерименти за построяване на частичните характеристики показани на фиг. 2, 3 и 4 с използване на същата методика и е направена аналогична проверка, показана на фиг. 6.



Фиг. 6. Определяне на равновесното положение на муфата при  $n = 825$  и  $n = 925$

Създадената методика за построяване на статичните характеристики на дизелов двигател с всережимен регулатор ще лежи в основата на математичен модел за динамично изследване на двигател при натоварване с различен съпротивителен момент.



Фиг. 7. Експериментална зависимост на цикловото подаване от честотата на въртене на вала на ГНП

#### ЛИТЕРАТУРА:

- Крутов В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект-М.: Машиностроение, 1978.  
 Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания-М.: Машиностроение, 1979.  
 Монева И.К. Улучшение топливной экономичности и снижение дымности отработавших газов дизелей РАБА – МАН автобусов Икарус в условиях эксплуатации при усовершенствовании конструкции на регулятора. Киев, докт. диссертация, 1988.

### MATHEMATICAL MODEL OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC REGULATION OF THE FREQUENCY OF ROTATION OF THE DIESEL ENGINE WITH ALL-REGIME REGULATOR

Moneva, Atanasov, Pehlivanov, Georgiev

#### Summary

*In the present paper a mathematical model for determining of the static characteristics of a diesel engine with all-regime regulator is developed. The basic relations for determining of supply of fuel per cycle of the fuel supply pump, the dosing-element coordinates of the fuel supply pump and of the muffler of the regulator is determinate. A method for verification of these relations on regulation parts is offered. The results are presented in graphical form and are compared with the experimental relations.*

**Key words:** Automatic regulation system, diesel engine, fuel supply pump, static characteristics.