

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання розрахункової роботи
«Розрахунок регулятора частоти обертання колінчастого валу дизеля»
з дисципліни
«Автоматичне регулювання силових установок транспортних
засобів»
для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»

ХАРКІВ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання розрахункової роботи
«Розрахунок регулятора частоти обертання колінчастого валу дизеля»
з дисципліни
«Автоматичне регулювання силових установок транспортних
засобів»

для студентів спеціальності 142 Енергетичне машинобудування

Затверджено
редакційно-видавничою радою
університету, протокол № 1
від 15 лютого 2024р.

Харків
НТУ „ХПІ”
2024

Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи «Розрахунок регулятора частоти обертання колінчастого валу дизеля» з дисципліни «Автоматичне регулювання силових установок транспортних засобів» для студентів спеціальності 142 Енергетичне машинобудування / Уклад. Кравченко С.С. – Харків: НТУ «ХПІ», 2024. – 20 с.

Укладач: С.С. Кравченко

Рецензент: О.В. Триньов

Кафедра двигунів та гібридних енергетичних установок

ВСТУП

Методичні вказівки розроблені відповідно до затвердженої програми курсу «Автоматичне регулювання силових установок транспортних засобів» і призначені для студентів спеціальності 142 – «Енергетичне машинобудування». Вони можуть бути використані при виконанні розрахункової роботи або відповідних розділів курсового і дипломного проектів, кваліфікаційної роботи бакалавра.

Об'єктом розрахунку обраний механічний всережимний регулятор частоти обертання колінчастого валу дизеля прямої дії типу P11M, що призначений для швидкохідних дизелів, які працюють на загальне навантаження паралельно з іншими аналогічними агрегатами.

Вибір регулятора даного типу в якості об'єкта розрахунків обумовлений тим, що його конструкція включає важливі додаткові елементи, врахування яких в розрахунках спонукає поглибленого розуміння процесів регулювання. Такими елементами є:

1. Пристрій для регулювання ступеня нерівномірності вимірювача у вигляді додаткової пружини зі змінним нахилом, а отже, зі змінною жорсткістю, що приведена до муфти вимірювача.

2. Жорстко приєднаний катаракт, що забезпечує стійкість динамічних процесів при малих ступенів нерівномірності за рахунок добавлення жорсткості пружини K до жорсткості пружин вимірювача на несталіх режимах.

Виконуючи лабораторні роботи з курсу «Автоматичне регулювання силових установок транспортних засобів», студенти проводять експериментальні дослідження процесів регулювання обертання колінчастого валу (КВ) лабораторного дизель-генератора, що оснащений регулятором P11M. При цьому отримані результати досліджень наглядно демонструють розрахункові результати.

Завдання на розрахункову роботу кожний студент отримує індивідуально з вказівкою номера варіанта. Розрахункова робота

складається з двох частин. Зміст першої частини є розрахунок статичних характеристик регулятора.

У другій частині ведеться розрахунок показників динамічної стійкості системи автоматичного регулювання (САР) дизель-генератора з регулятором Р11М.

1 ВИХІДНІ ДАНІ ДО РОЗРАХУНКУ

В табл. 1 представлено перелік вихідних даних, що використовуються в розрахунковій роботі. Деякі з них показані на схемі регулятора (рис.1). Величини a , b та l є однаковими для всіх варіантів розрахунку.

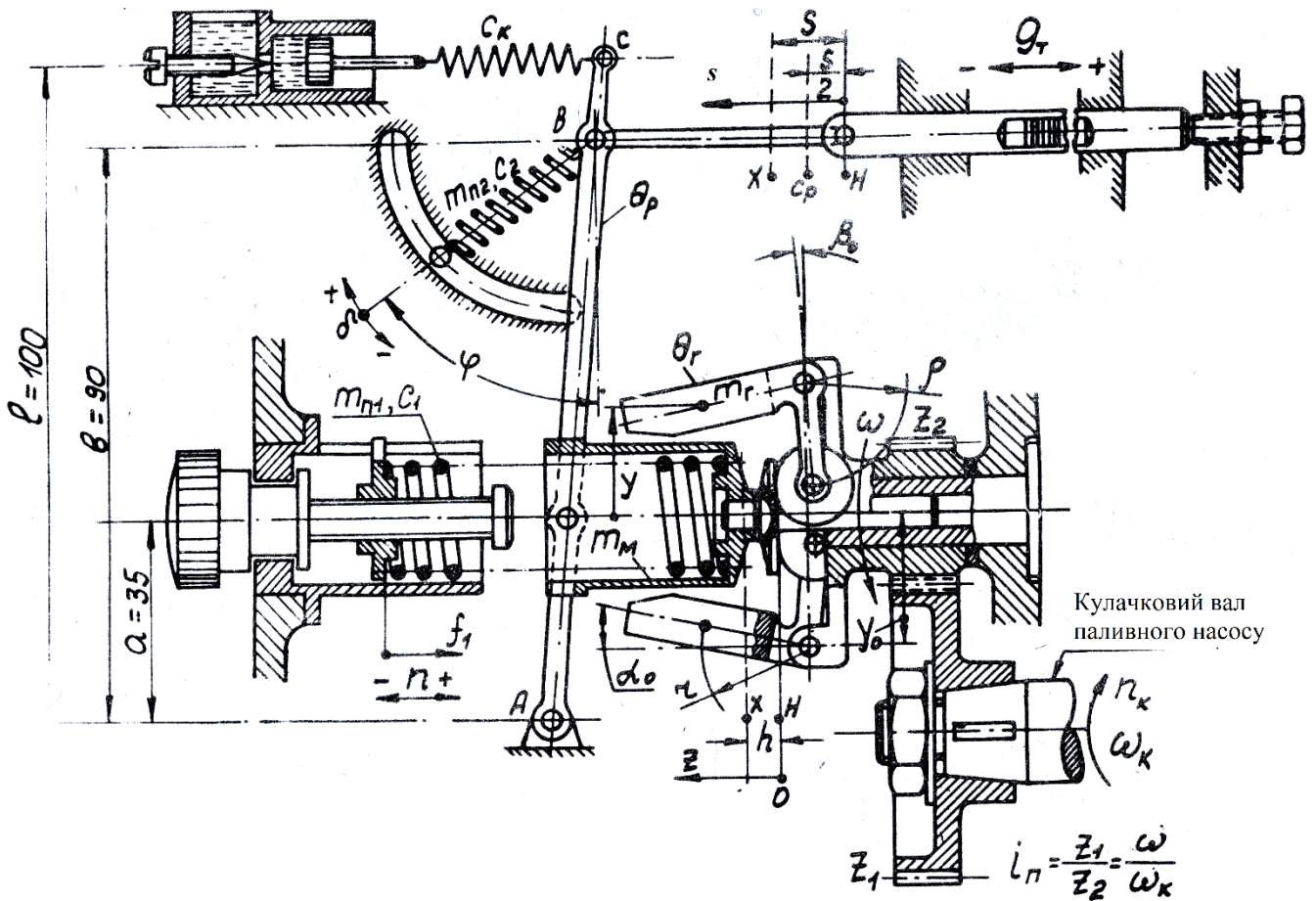


Рисунок 1 – Схема регулятора частоти обертання Р11М дизеля з регульованим ступенем нерівномірності та жорстким зв'язком з катарактом

Таблиця 1. Перелік вихідних даних до розрахунку

Величина	Позначення величини	Одиниця вимірювання
Координата вісі качання вантажа	y_0	см
Радіус дуги качання лапки вантажа	ρ	см
Радіус дуги качання центра мас вантажа	r	см
Робочий хід рейки паливного насосу високого тиску	S	см
Початкові деформації основної пружини регулятора	f_1', f_1'', f_1'''	см
Початкові деформації додаткової пружини	f_2	см
Початковий кут нахилу центра мас вантажа	α_0	град
Початковий кут нахилу лапки вантажа	β_0	град
Кут нахилу додаткової пружини	φ	град
Жорсткість основної пружини	C_1	Н/см
Жорсткість додаткової пружини	C_2	Н/см
Жорсткість пружини катаракта	C_k	Н/см
Передаточне відношення зубчатої передачі від кулачкового валу паливного насосу до регулятора	i_n	-
Число вантажів вимірювача	i_v	-
Маса вантажів регулятора	m_v	кг
Маса муфти регулятора	m_m	кг
Маса рейки паливного насосу з тягою	m_{pn}	кг
Маса основної пружини	m_{n1}	кг
Маса додаткової пружини	m_{n2}	кг
Момент інерції маси вантажа відносно вісі качання	Q_v	кг/см ²
Момент інерції маси ричага	Q_p	кг/см ²
Робочий об'єм циліндра двигуна	V_h	дм ³
Число циліндрів двигуна	i	-
Середній ефективний тиск для номінального режиму роботи двигуна	p_e	МПа
Приведений до валу момент інерції рухомих мас силового агрегату	Q_a	кг/м ²
Тактність двигуна	τ	-

2 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

2.1 Зміст статичного розрахунку

В даному розділі повинні бути розраховані та побудовано статичні характеристики при трьох заданих початкових деформаціях основної пружини f_1' , f_1'' , f_1''' . Кожній величині f_1 повинні відповідати три розрахункові положення рейки та рухомих з нею частин, що позначені індексом «Н», «Х» та «Ср». Таким чином, розрахунку підлягає 9 режимів.

Положення «Н», що показано на рис.1, відповідає повній подачі палива насосом при дотику рейки нерухомого упора. В положенні «Н» переміщення рейки паливного насосу високого тиску $s=0$.

Положення «Х» відповідає положенню рейки на режимі холостого ходу, тобто мінімальній подачі палива. В положенні «Х» переміщення рейки дорівнює її робочому ходу, тобто $s=S$.

Положення «Ср» є середнім між «Н» та «Х». При цьому переміщення рейки $s=S/2$.

Розрахунок для кожного режиму закінчується знаходженням рівноважної кутової частоти обертання вантажів регулятора ω і відповідної частоти обертання колінчастого валу дизеля n .

За результатами розрахунків повинні бути побудовані статичні характеристики для кожної f_1 у вигляді залежностей s від n (рис.2).

Для кожної з трьох статичних характеристики слід розрахувати повну ступінь нерівномірності δ_n .

Результати розрахунку δ_n знаходять у вигляді графічної залежності від величини $n_{ср}$.

2.2 Методика розрахунку статичної характеристики

Рівноважна кутова частота ω обертання для любого режиму повинна знаходитись із рівняння рівноваги

$$A\omega^2 - E = 0 \quad (1)$$

Ліва частина рівняння представляє собою суму сил, що прикладено до муфти: $A\omega^2$ – приведена до муфти відцентрова сила вантажів (підтримуюча сила); E – приведена до муфти сили основної та додаткової пружини (відновлювальна сила).

У відповідності до рис.1 сила E складається із сили основної пружини E_1 , що діє безпосередньо на муфту, та приведеної до муфти сили додаткової пружини E_2 :

$$E = E_1 + E_2' = C_1(f_1 + Z) + C_2(f_1 + Z \frac{b}{a} \sin \varphi) \frac{b}{a} \sin \varphi. \quad (2)$$

Оскільки хід рейки S значно менше, за довжину додаткової пружини, можна вважати кут φ постійним. Тоді для зручності розрахунку сили E при різних положеннях муфти Z формулу (2) перепишемо:

$$E = M + N, \quad (3)$$

де $M = C_1 f_1 - C_2 f_2 k_1; \quad (4)$

$$N = C_1 + C_2 k_1^2; \quad (5)$$

$$k_1 = \frac{b}{a} \sin \varphi = 2,57 \sin \varphi; \quad (6)$$

$$Z = \frac{a}{b} s = 0,39 s. \quad (7)$$

Силу $A\omega^2$ знаходимо з урахуванням координати Y центра маси вантажа:

$$A\omega^2 = i_g m_g Y \omega^2 \frac{r \cos \alpha}{\rho \cos \beta}, \quad (8)$$

де α і β – кути нахилу центра мас та лапки вантажа. (на рис.1 показані початкові значення цих кутів α_0 і β_0 , що відповідають положенню H).

Координату центра вантажу Y також можна виразити через кути α та Y_0 (рис.1):

$$Y = Y_0 - r \sin \alpha, \quad (9)$$

а кути β і α необхідно пов'язати з переміщенням муфти.

В результаті отримуємо серію розрахункових формул:

$$\alpha = k_2 + \beta; \quad (10)$$

$$k_2 = \alpha_0 - \beta_0; \quad (11)$$

$$\sin \beta = \frac{k_3 - Z}{\rho}; \quad (12)$$

$$k_3 = \rho \sin \beta_0; \quad (13)$$

$$A = k_4 Y; \quad (14)$$

$$k_4 = 10^{-2} i_g m_g \frac{r \cos \alpha}{\rho \cos \beta} \approx 10^{-2} i_g m_g \frac{r}{\rho}. \quad (15)$$

В формулі (15) враховано, що кути α і β малі, тому $\cos \alpha \approx \cos \beta \approx 1$. Множник 10^{-2} необхідний при підстановці Y в см.

Отримані вирази для E та A дозволяють з (1) знайти рівноважну кутову частоту обертання вимірювача ω і відповідно їй частоту обертання колінчастого валу дизеля n :

$$\omega = \sqrt{\frac{E}{A}}; \quad (16)$$

$$n = k_5 \omega; \quad (17)$$

$$k_5 = \frac{30\tau}{2\pi i_g} = \frac{15\tau}{\pi i_g}. \quad (18)$$

Вираз k_5 приведено з урахуванням того, що вимірювач отримує обертання від кулачкового валу паливного насосу, частота обертання якого n_k пов'язана з n залежністю:

$$n_k = 2n/\tau, \quad (19)$$

де τ – тактність двигуна.

Розрахував три значення n для положення рейки, позначених індексами «Н», «Ср», і «Х», отримуємо три характерні точки статичної характеристики вимірювача, що відповідає даної f_1 , тобто даному налаштуванню вимірювача.

Для кожної із статичних характеристик розраховуємо статичні показники якості:

повна ступінь нерівномірності

$$\delta_n = \frac{n_x - n_n}{n_{cp}} \quad (20)$$

та середню працездатність

$$W = E_{cp} S \frac{a}{b} = 0,39 E_{cp} S. \quad (21)$$

2.3 Порядок виконання статичного розрахунку

Розглянемо приклад виконання статичного розрахунку за вихідними даними, що наведено в табл.2.

Таблиця 2. Вихідні дані до розрахунку

y_0	ρ	r	S	f_1'	f_1''	f_1'''	f_2	α_0	β_0	φ	C_1	C_2	C_k
см								град			Н/см		
2,0	2,0	2,5	0,6	2,0	3,0	4,0	1,0	10	6	60	160	90	50
i_g	i_n	m_g	m_m	m_{pn}	m_{n1}	m_{n2}	Q_z	Q_p	V_h	i	p_e	Q_a	τ
-	-	кг					кг/см ²		дм ³	-	МПа	кг·м ²	-
2	3	0,15	0,07	0,2	0,09	0,01	1,2	5	1,6	6	0,8	6	4

Після наведення вихідних даних необхідно привести допоміжні розрахунки деяких величин (табл.3).

Таблиця 3. Допоміжні розрахунки до статичного розрахунку

Розрахункова формула	Одиниця вимірювання	Розрахунок величини
$k_1 = 2,57 \sin \varphi$	-	$2,57 \sin 60^\circ = 2,57 \cdot 0,866 = 2,23$
$N = C_1 + C_2 k_1^2$	Н/см	$160 + 90 \cdot 2,23^2 = 607,6$
$k_2 = \alpha_0 - \beta_0$	град	$10 - 6 = 4$
$k_3 = \rho \sin \beta_0$	см	$2 \cdot \sin 6^\circ = 2 \cdot 0,1044 = 0,209$
$k_4 \approx 10^{-2} i_g m_g \frac{r}{\rho}$	кг	$10^{-2} \cdot 2 \cdot 0,15 - \frac{2,5}{2} = 3,75 \cdot 10^{-3}$
$k_5 = \frac{15\tau}{\pi i_g}$	-	$\frac{15 \cdot 4}{3\pi} = 6,37$
$M = C_1 f_1 - C_2 f_2 k_1$	Н	$160 f_1 - 90 \cdot 1 \cdot 2,23 = 160 f_1 - 200,7$ при $f_1' = 2$ см $M' = 119,3$, при $f_1'' = 3$ см $M' = 279,3$, при $f_1''' = 4$ см $M' = 439,3$.

Після цього потрібно виконати розрахунок трьох статичних характеристик для кожної з заданих налаштувань вимірювача, тобто для f_1', f_1'', f_1''' (Табл. 4).

Таблиця 4. Розрахунок статичної характеристики при вихідних величинах $f_1'''=4$ см, $M'''=439,3$

Положення рейки	s	$Z=a/b \cdot s$, см	$N \cdot Z$, Н	$E=M+[4]$, Н	$k_3 \cdot Z$, см	$\sin\beta=[6]/\rho$	β , град	$\alpha=k_2+\beta$, град
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Н	0	0	0	439,7	0,209	0,1045	6	10,00
Ср	0,3	0,117	70,88	510,6	0,092	0,0460	2,64	6,64
Х	0,6	0,234	141,76	581,5	-0,025	-0,0125	-0,71	3,29
	$\sin\alpha$	$r \cdot \sin\alpha$, см	$Y=Y_0-[11]$, см	$A=k_4 \cdot Y$	E/A , рад/с	ω , рад/с	n , хв ⁻¹	
	10	11	12	13	14	15	16	
Н	0,17	0,434	1,566	0,00581	75617	275,0	1751	
Ср	0,12	0,289	1,711	0,00635	80359	283,5	1805	
Х	0,06	0,143	1,857	0,00689	84333	290,4	1849	
$\delta_n^m = \frac{n_x - n_n}{n_{cp}} = \frac{1849 - 1751}{1805} = 0,05$								

Після розрахунку характеристик потрібно побудувати графіки статичних характеристик та залежності δ_n від n_{cp} (рис.2 та рис.3).

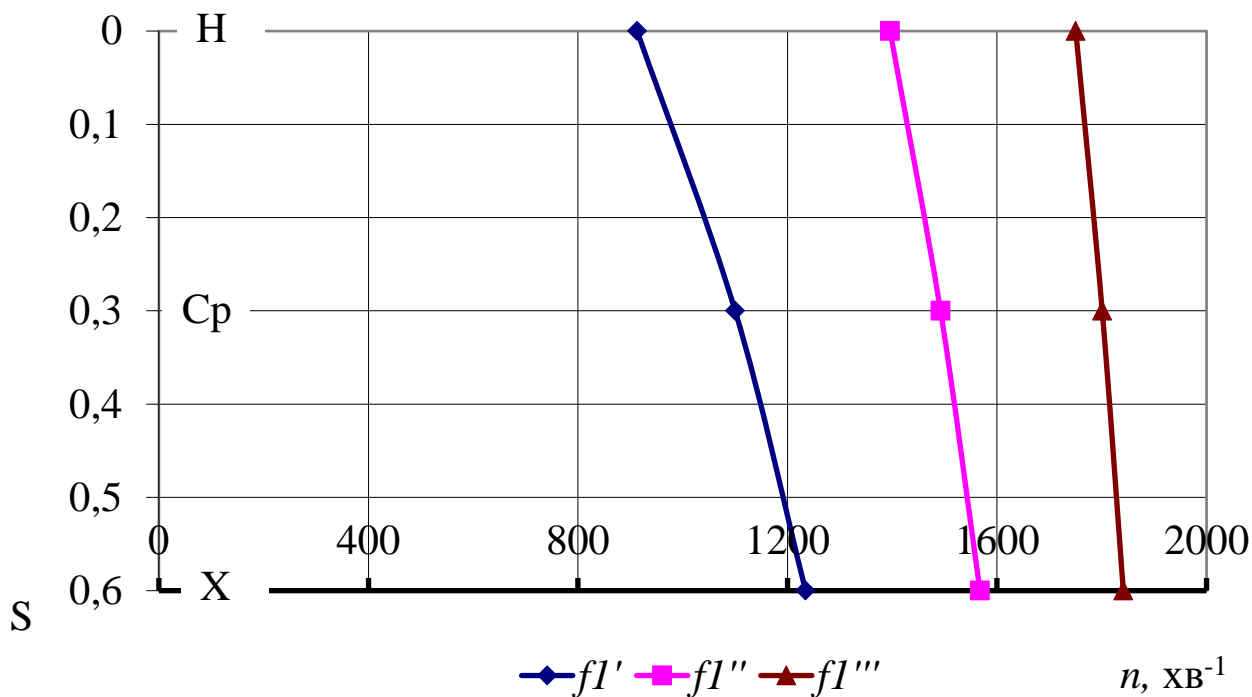


Рисунок 2 – Статичні характеристики вимірювача

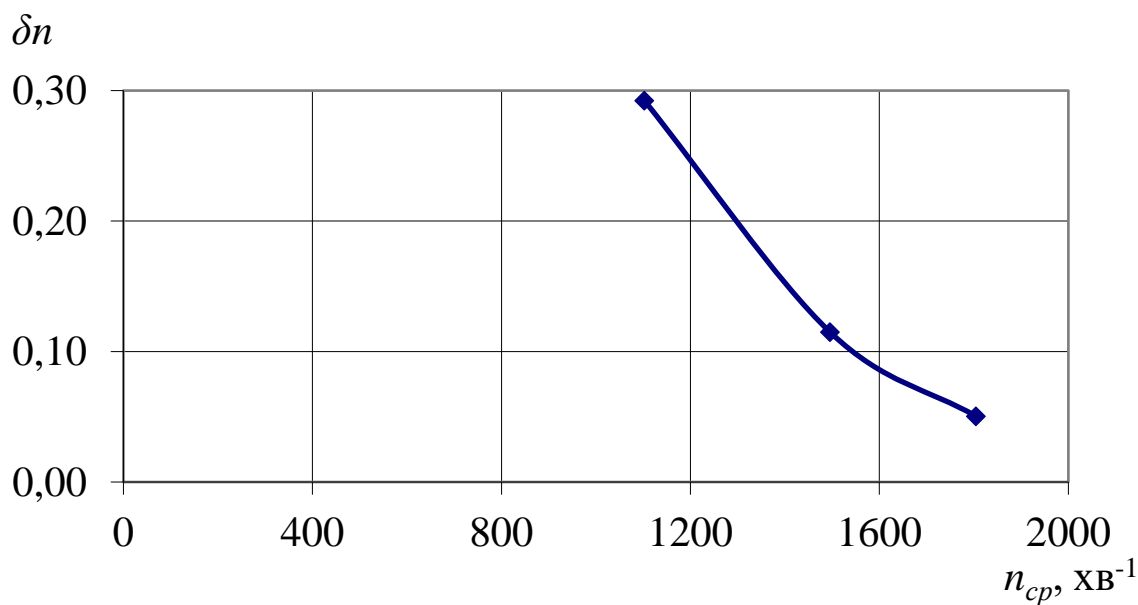


Рисунок 3 – Залежність ступеня нерівномірності від n_{cp}

3 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ

3.1 Зміст динамічного розрахунку

В цьому розділі розрахункової роботи розраховуються параметри Вишнеградського для кожної з трьох отриманих статичних характеристик, тобто для кожної з трьох налаштувань вимірювача: f_1' , f_1'' , f_1''' . Параметр Y повинен бути розрахований в кожному випадку без і з врахуванням пружно з'єданого катаракту.

Для кожної пари параметрів X та Y повинно бути виконана перевірка динамічної стійкості за відомими критеріями.

3.2 Методика розрахунку динамічної стійкості

Параметри X та Y є критеріями подібності динамічних процесів в системах автоматичного регулювання з регуляторами прямої дії. Для цих розрахунків необхідно знаходження ряду величин за наведеними нижче формулами.

Приведена до муфти маса вимірювача та деталей керування паливоподачею:

$$m_z = m_M + \frac{i_6 Q_6}{\rho^2} + \frac{Q_p}{a^2} + m_{pH} \left(\frac{b}{a} \right)^2 + (m_{n1} + m_{n2} k_1^2) / 3, \quad (22)$$

де $(b/a)^2 = 2,57^2 = 6,6$.

Час регулятора

$$T = \sqrt{m_z \cdot k_6}, \quad (23)$$

де

$$k_6 = \frac{10^{-2} S}{2E_{cp}} \cdot \frac{a}{b} = 1,94 \cdot 10^{-3} \frac{S}{E_{cp}}. \quad (24)$$

Час в'язкого тертя

$$T_r = r \cdot k_6, \quad (25)$$

де r – коефіцієнт в'язкого тертя в механізмах керування паливоподачею, що знаходиться за формулою

$$r = \left(\frac{b}{a} \right)^2 V_h^{2/3} i = 6,6 V_h^{2/3} i \quad (26)$$

де V_h – робочий об'єм, дм³.

Час розгону силового агрегата

$$T_a = n_{cp} \cdot k_7, \quad (27)$$

де

$$k_7 = \frac{\pi Q_a}{30M_n} = \frac{Q_a}{9,55M_n}, \quad (28)$$

M_n – номінальний крутний момент двигуна в Нм

$$M_n = 10^3 \frac{p_e V_h i}{\pi \tau}. \quad (29)$$

Перший параметр Вишнеградського:

$$X = \frac{T_r}{T} = \sqrt[3]{\frac{T_a}{T}}. \quad (30)$$

Другий параметр Вишнеградського:

- без урахування пружно приєднаного катаракту

$$Y = \delta_n \sqrt{\frac{T_a^2}{T^2}}. \quad (31)$$

- з урахуванням пружно приєднаного катаракту

$$Y = \delta_{nk} \sqrt{\frac{T_a^2}{T^2}}. \quad (32)$$

де

$$\delta_{nk} = \delta_n + \delta_k, \quad (33)$$

$$\delta_k = k_8 / E_{cp}, \quad (34)$$

$$k_8 = C_k \frac{l}{a} \cdot \frac{S}{2} \cdot \frac{a}{b} = 0,556 C_k S. \quad (35)$$

де δ_k – зникаюча ступінь нерівномірності вноситься пружиною катаракта.

Для перевірки стійкості динамічних процесів в САР використовують три критерія:

$$\text{I. } XY > 2, \quad (36)$$

$$\text{II. } Y > 3, \quad (37)$$

$$\text{III. } XY < Y^3. \quad (38)$$

3.3 Порядок виконання динамічного розрахунку

Використовуючи вихідні дані табл.2, розраховуємо величини, що не залежать від налаштування І.

За формулою (22) знаходимо

$$m_z = 0,07 + \frac{2 \cdot 1,2}{2^2} + \frac{5}{3,5^2} + 0,2 \cdot 6,6 + (0,09 + 0,01 \cdot 2,23^2) / 3 = 2,45 \text{ кг.}$$

За формулою (26) $r = 6,6 \cdot 1,6^{2/3} \cdot 6 = 54,2 \text{ Нс/м.}$

За формулою (29) $M_n = 10^3 \frac{0,8 \cdot 1,6 \cdot 6}{4\pi} = 611 \text{ Нм.}$

За формулою (28) $k_7 = \frac{6}{9,55 \cdot 611} = 1,03 \cdot 10^{-3}.$

За формулою (35) $k_8 = 0,556 \cdot 50 \cdot 0,6 = 16,7.$

Далі розрахунок параметрів Вишнеградського та критеріїв динамічної стійкості виконують в табл.5.

В останніх колонках таблиці для кожного з критеріїв I, II, III ставиться знак «+» у разі якщо умова критерію виконується, або знак «-» - не виконується.

Остання колонка «Загал» є підсумковою. В неї ставиться знак «+» лише в тому випадку, якщо усі три умови виконуються, в іншому випадку ставиться «-» (якщо навіть одна умова не виконується) та вважається, що вимоги щодо стійкості не задовольняються.

Після виконання розрахунку потрібно надати висновок про динамічну стійкість наприклад

1. На розрахунковому режимі при $\delta_n = 0,051$ САР динамічно стійка як з катарактом так і без нього.

2. При менших значеннях δ_n , тобто при менших кутах нахилу додаткової пружини, САР без жорстко з'єданого катаракта може стати динамічно не стійкою. Причиною нестійкості при малих δ_n можуть бути не враховані в розрахунках нелінійні фактори.

Таблиця 5. Розрахунок показників динамічної стійкості САР з регулятором Р11М

f_1	$E_{cp}, Н$	$T, с$	$T_r, с$	$n_{cp},$ XB^{-1}	$T_a, с,$	T_d/T	T_r/T	X	δ_n	Y	δ_k	δ_{nk}	Y
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
f_1'													
f_1''													
f_1'''	510,4	$2,36 \cdot 10^{-3}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	1805	1,85	784	$0,0525$	0,484	0,05	4,34	0,033	0,084	7,14
Критерій стійкості													
f_1	$X \cdot Y$	Y^3	$X \cdot Y$	Y^3	Без катаракта				З катарактом				
					I	II	III	Загал	I	II	III	Загал	
					$X \cdot Y > 2$	$Y > 3$	$XY < Y^3$		$X \cdot Y > 2$	$Y > 3$	$XY < Y^3$		
f_1'	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
f_1''													
f_1'''	2,10	81,7	3,46	364	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Варіанти вихідних даних до розрахунку САР

No вар.	y_0	ρ	r	S	f_1'	f_1''	f_1'''	f_2	α_0	β_0	φ	C_1	C_2	C_k	i_s	i_n	m_s	m_m	m_{pn}	m_{n1}	m_{n2}	Q_s	Q_p	V_h	i	p_e	Q_a
	см								град			Н/см			кг						кг/см ²		дм ³	-	МПа	кг·м ²	
1	1,8	2,2	2,4	0,5	0,6	1,2	1,8	0,9	12	10	25	140	70	50	2	2,7	0,1	0,08	0,25	0,08	0,010	1,2	4,2	1,3	4	0,7	3,5
2	1,9	2,1	2,3	0,6	0,7	1,4	2,1	1,1	10	9	30	145	65	45	2	2,8	0,11	0,09	0,28	0,08	0,008	1,2	4,5	1,4	5	0,75	4,0
3	2,0	1,9	2,6	0,7	0,9	1,8	2,7	1	8	7	35	150	60	55	2	2,9	0,12	0,1	0,30	0,10	0,009	1,0	4,8	1,3	6	0,80	5,0
4	2,1	2	2,4	0,8	1,0	2,0	3,0	1,2	6	8	40	155	55	60	2	3	0,11	0,11	0,32	0,11	0,007	0,8	5,2	1,42	6	0,65	5,5
5	2,2	1,8	2,5	0,5	1,1	2,2	3,3	0,9	7	9	45	140	55	55	2	3,1	0,13	0,12	0,34	0,10	0,007	1,0	5,6	1,25	5	0,60	6,0
6	1,8	2	2,6	0,6	1,1	2,2	3,3	1	9	10	50	150	60	65	2	3,2	0,14	0,13	0,36	0,09	0,008	1,1	6,0	1,3	4	0,70	5,5
7	1,9	2,2	2,4	0,7	1,4	2,8	4,2	1,2	11	8	55	145	65	60	2	3,3	0,15	0,14	0,40	0,08	0,009	1,2	6,5	1,36	4	0,75	5,0
8	2,0	1,9	2,5	0,8	1,3	2,6	3,9	1,1	12	7	60	155	70	45	2	3,4	0,11	0,15	0,38	0,07	0,010	1,1	6,2	1,4	5	0,80	4,5
9	2,1	1,8	2,6	0,8	1,5	3,0	4,5	1,2	10	8	55	140	65	50	2	3,5	0,12	0,16	0,32	0,08	0,010	1,0	6,4	1,3	6	0,85	4,0
10	2,2	2	2,6	0,7	1,4	2,8	4,2	1	8	9	50	150	60	55	2	3,6	0,13	0,15	0,28	0,09	0,009	0,9	5,8	1,38	6	0,70	3,5
11	1,8	2,1	2,4	0,6	1,2	2,4	3,6	0,9	6	8	45	155	70	60	2	3,4	0,14	0,13	0,27	0,10	0,008	0,9	4,7	1,27	5	0,76	4,0
12	1,9	2,2	2,5	0,5	1,0	2,0	3,0	1	7	9	40	145	75	65	2	3,2	0,1	0,11	0,32	0,09	0,007	1,0	4,5	1,36	4	0,82	4,5
13	2,0	1,9	2,6	0,6	0,9	1,8	2,7	1,1	9	7	35	140	60	50	2	3	0,12	0,09	0,36	0,11	0,007	1,1	4,3	1,4	5	0,68	5,0
14	2,1	1,8	2,4	0,7	0,8	1,6	2,4	1,2	11	8	30	145	65	55	2	2,8	0,13	0,10	0,35	0,08	0,009	1,2	4,4	1,45	6	0,77	5,5
15	2,2	2	2,5	0,8	0,8	1,6	2,4	1	10	6	25	155	55	60	2	2,7	0,14	0,12	0,33	0,10	0,007	1,0	5,2	1,38	4	0,72	6,0

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / За ред. проф. Л. П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова.— Харків, Прапор, 2004.— 384 с.

2. Грунауер О.А. Розрахунок і проектування систем регулювання ДВЗ. Використання мікропроцесорів: навч. посібник /О.А. Грунауер, І.Д. Долгіх. – Київ: УМК ВО, 1991. – 379 с.

3. Долганов К.Є. Автоматичне регулювання двигунів внутрішнього згоряння: навч. посібник. /К.Є. Долганов, А.А. Лісовал. – Київ: НТУ, 2003. –138 с.

4. Тимченко І.І. та ін. Автомобільні двигуни / І.І.Тимченко, Ю.Ф.Гутаревич, К.Є.Долганов, М.Р.Муждобаєв; за ред. І.І.Тимченка. – Харків: Основа, 1995. – 464 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ВИХІДНІ ДАНІ ДО РОЗРАХУНКУ.....	5
2 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	7
2.1 Зміст статичного розрахунку.....	7
2.2 Методика розрахунку статичної характеристики.....	7
2.3 Порядок виконання статичного розрахунку.....	9
3 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ.....	13
3.1 Зміст динамічного розрахунку.....	13
3.2 Методика розрахунку динамічної стійкості.....	13
3.3 Порядок виконання динамічного розрахунку.....	14
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	18

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання розрахункової роботи
«Розрахунок регулятора частоти обертання колінчастого валу дизеля»
з дисципліни «Автоматичне регулювання силових установок
транспортних засобів»

Укладачі:
КРАВЧЕНКО Сергій Сергійович

Відповідальний за випуск проф. Марченко А.П.

Роботу до видання рекомендувала доц. Тютюнник Л.І.

В авторській редакції

План 2024 р., поз. 70.

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,3.

Видавець Видавничий центр НТУ «ХП». 61002, Харків, вул.
Кирпичова, 2.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Самостійне електронне видання