

2.3. Підбір елементів системи пуску та оптимізація її параметрів

2.3.1. Умова мінімізації маси елементів системи пуску

Оптимізація параметрів системи пуску може проводитися за різними критеріями: мінімізація маси, мінімізація вартості, мінімізація струму короткого замикання, необхідного для надійного пуску ДВЗ. За першим критерієм при проектуванні й підборі елементів прагнуть одержати конструкцію системи пуску мінімальної маси.

Для заданої напруги U_H розрахункову потужність електродвигуна стартера P забезпечують при різній кратності струму K_C й відносних опорах елементів системи пуску, але при дотриманні умови мінімізації [10]

$$R'_{AB} + R'_{np} + R'_C = 1, \quad (2.3.1)$$

де $R'_{AB} = \frac{R_{AB}}{R_{ся}}$, $R'_{np} = \frac{R_{np}}{R_{ся}}$, $R'_C = \frac{R_C}{R_{ся}}$ – відповідно відносні опори АКБ, проводу стартерної електромережі й стартера;

$R_{ся} = (U_H - \Delta U_{щ})^2 (1 - K_C^2) / P$ – сумарний опір кола якоря;

$K_C = I_C / I_{CT}$ – кратність струму, що характеризує режим електричного навантаження стартерного двигуна.

Збільшення частки опору одного елемента системи в сумарному опорі дозволяє зменшити його габаритні розміри й масу. Однак за умовою мінімізації при цьому неминує погіршуються ті ж показники у інших елементів системи пуску.

Маса АКБ визначається через її енергетичні параметри та зворотно пропорційна внутрішньому опорі

$$m_{AB} = \frac{U_H C_{20}}{W'_{AB}} = \frac{U_H^2 P \Delta C_{20}}{(U_H - \Delta U_{щ})^2 (1 - K_C) K_C W'_{AB} I_+ R'_{AB}}, \quad (2.3.2)$$

де W'_{AB} – питома енергія АКБ (довідкові дані 28 – 42 кВтг/кг);

C_{20} – номінальна ємність АКБ;

ΔC_{20} – ємність акумулятора, що забезпечує одна позитивна пластина (довідкові дані 13 – 16 Аг);

I_+ – струм короткого замикання однієї пластини акумулятора.

Струм I_+ визначається за довідковими даними з урахуванням температури електроліту, типу сепаратора, зниження ємності на кожну спробу старту.

Маса проводу стартерної електромережі залежить від потужності, що передається, та відстані передачі

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \rho_{\text{пр}} = \frac{\rho_{\text{пр}} \rho_{R.\text{пр}} l_{\text{пр}}^2 P}{R'_{\text{пр}} (U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^2 (1 - K_{\text{С}}) K_{\text{С}}}, \quad (2.3.3)$$

де $\rho_{\text{пр}}$ – питома вага матеріалу проводу;

$V_{\text{пр}}$ – об'єм матеріалу проводу;

$\rho_{R.\text{пр}}$ – питомий електричний опір матеріалу проводу;

$l_{\text{пр}}$ – довжина проводу.

Маса стартера (чотириполюсного для середніх значень відносних розмірів) може бути приблизно визначена за емпіричною формулою, виходячи з його внутрішнього (активного) опору

$$m_{\text{С}} = 0,05 U_{\text{Н}} 1/R_{\text{С}}^{0,6}. \quad (2.3.4)$$

Більш точна формула враховує значення структурних параметрів та режими роботи стартера

$$m_{\text{С}} = 1665 \rho_{\text{С}} (U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^{1,2} \left[\frac{1 - K_{\text{С}}}{B_{\delta} n_{\text{С}}} \right]^{1,2} \left[\frac{\rho_{RЯ}}{R_{\text{С}}} \right]^{0,6}, \quad (2.3.5)$$

де $\rho_{\text{С}}$ – вагова щільність стартера;

$\rho_{RЯ}$ – питомий опір проводу обмотки якоря;

B_{δ} – значення індукції в робочому зазорі;

$n_{\text{С}}$ – частота обертання ротору в номінальному режимі;

1665 – емпіричний коефіцієнт, що враховує відносні конструктивні параметри.

Приблизне значення маси стартера також можна отримати з довідників у вигляді діаграм (рис. 2.3.1).

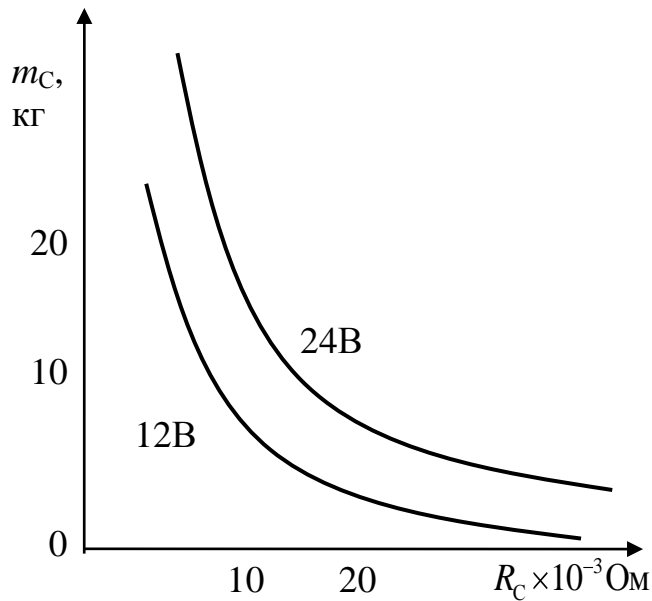


Рис. 2.3.1. Залежність маси стартера від його опору

При підборі елементів СЕП з переліку стандартних виробів спочатку задаються часткою опору АКБ на підставі повного опору стартерної мережі та обирають тип АКБ. Потім задаються часткою опору стартерного проводу і за умовою мінімізації маси визначають опір стартера.

2.3.2. Підбір елементів системи пуску за номінальною потужністю

Розрізняють два методи підбору елементів системи пуску: підбір елементів за номінальною потужністю (з урахуванням можливого режиму роботи стартерного двигуна за кратністю струму) та підбір елементів за опором стартера [3, 18]. За першим методом підбір елементів виконують у такий спосіб.

1. Визначають вихідні дані для ДВЗ (M_0 , n_{\min}), умови експлуатації автомобіля для якого проектується система пуску (t_{\min}), робочі характеристики стартерів з переліку можливих до застосування.

2. За пусковими характеристиками ДВЗ визначають механічну потужність стартера, необхідну для пуску ДВЗ у заданих умовах.

$$P_c = \frac{\pi n_{\min} M_0}{30 \eta_z}, \quad (2.3.6)$$

де η_z – коефіцієнт корисної дії механічної передачі.

Потрібна частота обертання та необхідний обертовий момент якоря стартера в робочому режимі залежить від обраного передаточного числа привода i_{CD} (числа зубців ведучої шестерні)

$$n_C = n_{\min} i_{CD}, \quad M_C = \frac{M_0}{(i_{CD} \eta_z)}. \quad (2.3.7)$$

3. Перераховують механічну потужність стартера в електричну через електромеханічний ККД (2.2.14)

$$P = \frac{P_C}{\eta_C}. \quad (2.3.8)$$

4. Розраховують протидіючу ЕРС в обмотці якоря за різною кратністю струмового навантаження ($K_C=0,5 - 0,7$), виходячи з умови стабільної прокрутки (максимальної потужності)

$$E_C = (U_H - \Delta U_{щ})(1 - K_C). \quad (2.3.9)$$

Падіння напруги під щітками колектора приймають рівним $1 \dots 1,5$ В для номінальної напруги електромережі 12 В та $2,0 \dots 2,5$ для 24 В.

Частота обертання якоря стартера в режимі максимальної потужності також визначається при крайностях струму в робочому діапазоні ($K_C=0,5 - 0,7$)

$$n_{C.m} = \frac{0,5n_C}{(1 - K_C)}. \quad (2.3.10)$$

5. Визначають діапазон робочих струмів якоря стартера в робочих режимах

$$I_C = \frac{P}{E_C}. \quad (2.3.11)$$

6. Визначають сумарний опір стартерної мережі при якому можлива реалізація необхідної потужності при відомій ЕРС якоря

$$R_{\text{СЯ}} = \frac{(U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^2 (1 - K_{\text{С}}) K_{\text{С}}}{P}. \quad (2.3.12)$$

7. Виходячи з умови мінімізації маси елементів системи пуску (2.3.1), визначають розрахунковий опір АКБ, задаючись рекомендованим значенням її відносного опору (60 – 70%), $R_{\text{АБ}}^1 = (0,6 - 0,7)R_{\text{СЯ}}$.

8. На підставі допустимих значень опору батареї визначають відповідну розрахункову номінальну ємність АКБ або обирають АКБ у відповідності до внутрішнього опору за довідковими таблицями

$$C_{20}^1 = \frac{U_{\text{Н}} \Delta C_{20}}{I_{+} R_{\text{АБ}}^1}. \quad (2.3.13)$$

Силу струму короткого замикання при цьому можна визначити на підставі емпіричної формули

$$I_{+} = (a_{\text{П}} + b_{\text{П}} t_{\text{ел}}^{\circ} - c_{\text{П}} \Delta C_{\text{р}}) [1 - k_{\text{П}} (z_{\text{П}} - 1)], \quad (2.3.14)$$

де $a_{\text{П}}$, $b_{\text{П}}$, $c_{\text{П}}$ – коефіцієнти, що враховують вплив температури й типу сепарації;

$k_{\text{П}}$ – коефіцієнт, що враховує зниження I_{+} з кожною спробою пуску;

$z_{\text{П}}$ – порядковий номер спроби старту;

$t_{\text{ел}}^{\circ}$ – температура електроліту;

$\Delta C_{\text{р}}$ – зниження ємності АКБ на одну спробу старту.

9. Після вибору найближчої більшої ємності АКБ C_{20} за шкалою номінальних значень уточнюють значення опору батареї обраної ємності (або визначають за паспортними даними)

$$R_{\text{АБ}} = \frac{U_{\text{Н}} \Delta C_{20}}{I_{+} C_{20}}. \quad (2.3.15)$$

10. Визначають опір стартера для режиму максимальної потужності з урахуванням опору стартерного проводу (10 – 20% від опору обраної АКБ), $R_{\text{С}} = R_{\text{СЯ}} - 1,2R_{\text{АБ}}$.

11. Визначають максимальну електромагнітну потужність, що підводиться до стартера при прокручуванні ДВЗ (узгоджений режим кола АКБ під час пуску) при номінальних умовах.

$$P_{mH} = \frac{(U_H - \Delta U_{\text{Щ}})^2}{4R_{\text{SH}}}, \quad (2.3.16)$$

де $R_{\text{SH}} = a_B U_H / C_{20} + R_{\text{CH}}$ – сумарний опір кола якоря при знятті номінальних характеристик (при $R_{\text{пр}} = 0$);

a_B – емпіричний коефіцієнт поправки ($a_B = 0,05$ при $C_{20} < 100$ Аг; $a_B = 0,057$ при $C_{20} > 100$ Аг);

$R_{\text{CH}} = R_C / k_t$ – опір обмоток стартерного електродвигуна за номінальними умовами;

$k_t = 1 + 0,004(t_{\text{пр}}^{\circ} - 25)$ – температурний коефіцієнт опору міді.

Номінальну механічну потужність в ватах, яка вказується в технічному паспорті стартера, визначають за формулою

$$P_{\text{ном}} = P_{mH} \eta_C. \quad (2.3.17)$$

12. Виходячи з отриманих значень номінальної потужності $P_{\text{ном}}$ і струмів в робочому діапазоні I_C за робочими характеристиками стартерів, обирають ближчий, що підходить, стартерний двигун, а за номінальною ємністю C_{20} – тип (марку) АКБ.

13. За робочими характеристиками обраного стартерного електродвигуна (рис. 2.2.8) визначають обертовий момент на валу стартерного двигуна M_C для номінального режиму.

14. Узгоджують передачу моменту від стартерного двигуна до ДВЗ, розраховуючи і обираючи передаточне число приводу стартера (кількість зубців ведучої шестерні).

15. Перевіряють придатність ведучої шестерні, яка встановлена на обраному стартері

Для зручності сприйняття матеріалу на рис. 2.3.2 наведено структурну схему підбора елементів СЕП з позначенням послідовності обчислення параметрів. Позначкою ⁽¹⁾ відокремлені розрахункові величини на підставі яких обирають номінальні значення параметрів.

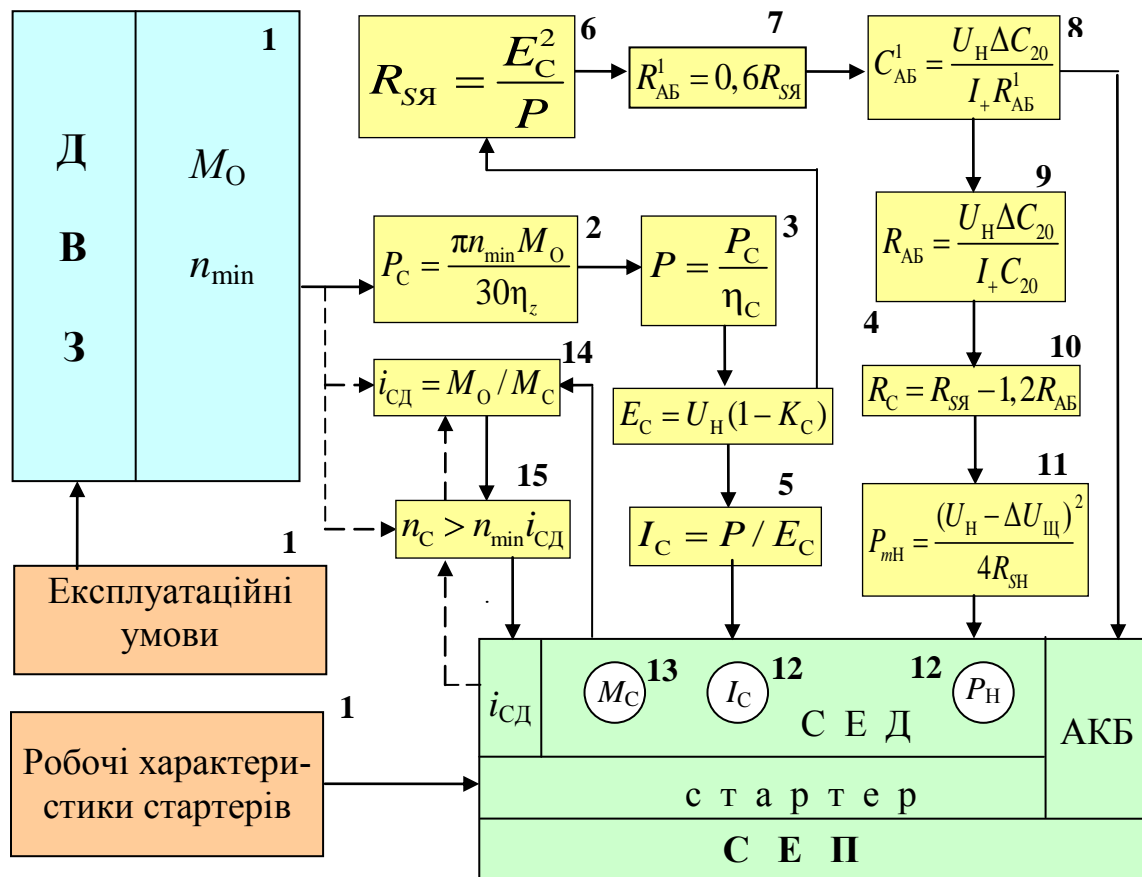


Рис. 2.3.2. Структурна схема підбору елементів системи пуску за номінальною потужністю стартера

Недоліком методу підбору елементів системи пуску за номінальною потужністю є складність переходу від вихідних пускових параметрів ДВЗ до номінальних характеристик стартера.

2.3.3. Підбір елементів системи пуску за опором стартера

При підборі елементів системи пуску за цим методом як вихідні дані розглядаються: пускові характеристики ДВЗ, для якого підбирається система; таблиці, в яких міститься інформація про атрибути ДВЗ, що визначають момент опору колінчастого вала; експлуатаційні умови (мінімальна температура пуску) транспортного засобу; робочі характеристики стартерів; технічні характеристики АКБ. Метод підбору проводиться у такий спосіб.

1. Аналізуються вихідні та довідкові дані з метою попереднього вибору можливих комплектацій системи. Спеціальні довідкові

таблиці, за якими ідентифікується ДВЗ, складаються у певному форматі (табл. 2.3.1).

Таблиця 2.3.1

Дані для вибору габаритних розмірів стартера

Тип ДВЗ	Робочий об'єм циліндра $V_{ц}$, л	Кількість циліндрів $z_{ц}$	Розташування циліндрів	Зовнішній діаметр стартера D_i , м
Карбюраторний	1,5 – 2,0	2	V-подібне	0,105 – 0,11
	2,0 – 2,5	4	рядове	0,11 – 0,12
	.....	6	V-подібне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,13 – 0,15
Інжекторний	1,5 – 2,0	2	V-подібне	0,1 – 0,11
	2,0 – 2,5	4	рядове	0,11 – 0,12
	.....	6	V-подібне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,13 – 0,15
Дизельний	1,5 – 2,0	2	V- подібне	0,12 – 0,13
	2,0 – 2,5	4	рядове	0,14 – 0,16
	.....	6	V- подібне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,2 – 0,22
Газовий	1,5 – 2,0	2	V- подібне	0,1 – 0,11
	2,0 – 2,5	4	рядове	0,11 – 0,12
	.....	6	V- подібне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,13 – 0,15

Після визначення необхідного діаметру електродвигуна, який потенційно забезпечить потрібну потужність при старті, вибирають декілька варіантів комплектації системи (типи стартерів і АКБ) за табл. 2.3.2.

Таблиця 2.3.2

Технічні характеристики елементів системи пуску

Зовнішній діаметр стартера D_i , м	Тип стартера	Тип АКБ	Внутрішній опір стартера, Ом	Маса стартера, кг	Маса АКБ, кг
0,105 – 0,11	СТ 221	6СТ55	0,01	8,5	12,2
0,11 – 0,12	СТ 230Б	6СТ75	0,0095	12,5	16,4
.....
0,13 – 0,18	16.3708	6СТ182	0,00275	53,0	24,6

2. Визначають електромагнітну потужність, яка потрібна для здійснення пуску

$$P = \frac{\pi n_{\min} M_0}{30 \eta_C} . \quad (2.3.18)$$

3. Для обраних стартерів з передаточними числами $i_{CD.i}$ визначають обертові моменти на валу ведучої шестерні, виходячи з потрібного моменту для прокручування ДВЗ в режимі пуску

$$M_{C.i} = \frac{M_0}{i_{CD.i} \eta_z} . \quad (2.3.19)$$

4. По робочим характеристикам обраних стартерів $M_C=f(I_C)$, визначають значення струмів $I_{C.i}$ стартерів в режимі прокручування.

5. Визначають максимально можливі для заданих умов величини внутрішніх опорів АКБ

$$R_{AB.i} = R_{СЯ.i} - X_{C.i} - R_{C.i} - R_{пр.i} , \quad (2.3.20)$$

де $R_{СЯ.i} = (U_H - \Delta U_{Щ}) / I_{C.i}$ – сумарний опір кола стартерної мережі;

$X_{C.i} = P / I_{C.i}^2$ – індуктивний опір стартера, створений ЕРС якоря;

$R_{C.i}$ – внутрішній опір стартера (див. табл. 2.3.2);

$R_{пр.i} = 0,6 R_{C.i}$ – опір проводу підключення стартера.

6. За довідковими даними відповідно до внутрішніх опорів обираються номінальні ємності та типи АКБ для варіантів комплектації. Якщо така інформація відсутня, проводять розрахунок достатньої номінальної ємності АКБ. Для цього визначають потрібну кількість позитивних пластин АКБ, при яких забезпечується задане значення внутрішнього опору (потужності) АКБ

$$n_{+.i} = \frac{U_H}{R_{AB.i} I_+} . \quad (2.3.21)$$

7. Для заданої напруги U_H і визначеної кількості пластин $n_{+.i}$ обирають номінальні ємності АКБ $C_{20.i}$ та визначають їх типи. В результаті отримують декілька можливих варіантів комплектації системи пуску (стартер разом з АКБ).

8. За довідковими даними обирають переважний варіант комплектації системи за заданим критерієм (мінімальна маса, габарити елементів, вартість комплекту, відповідність умовам експлуатації).

Якщо в технічному завданні на проектування передбачено доробку механізму приводу стартера (підбір шестерні приводу), виконують оптимізацію передаточного числа обраного стартера з метою подальшої мінімізації сумарної маси елементів системи пуску. Для цього задаються рядом значень передаточних відношень i_{CD} та повторюють розрахунок за пунктами 3, 4, 5.

9. За результатами розрахунків будується залежність $R_{AB} = f i_{CD.i}$, на підставі якої обирається передаточне число i_{CD} (кількість зубців ведучої шестерні), що відповідає максимально дозволеному опору (мінімальній потужності) АКБ.

10. Далі обирають тип АКБ за визначеним опором. В такому разі маса АКБ та сумарна маса і габарити комплекту системи, який підбрано після оптимізації параметрів, буде мінімальною.

Для зручності сприйняття матеріалу на рис. 2.3.3 наведено картограму підбору елементів СЕП за наведеною методикою.

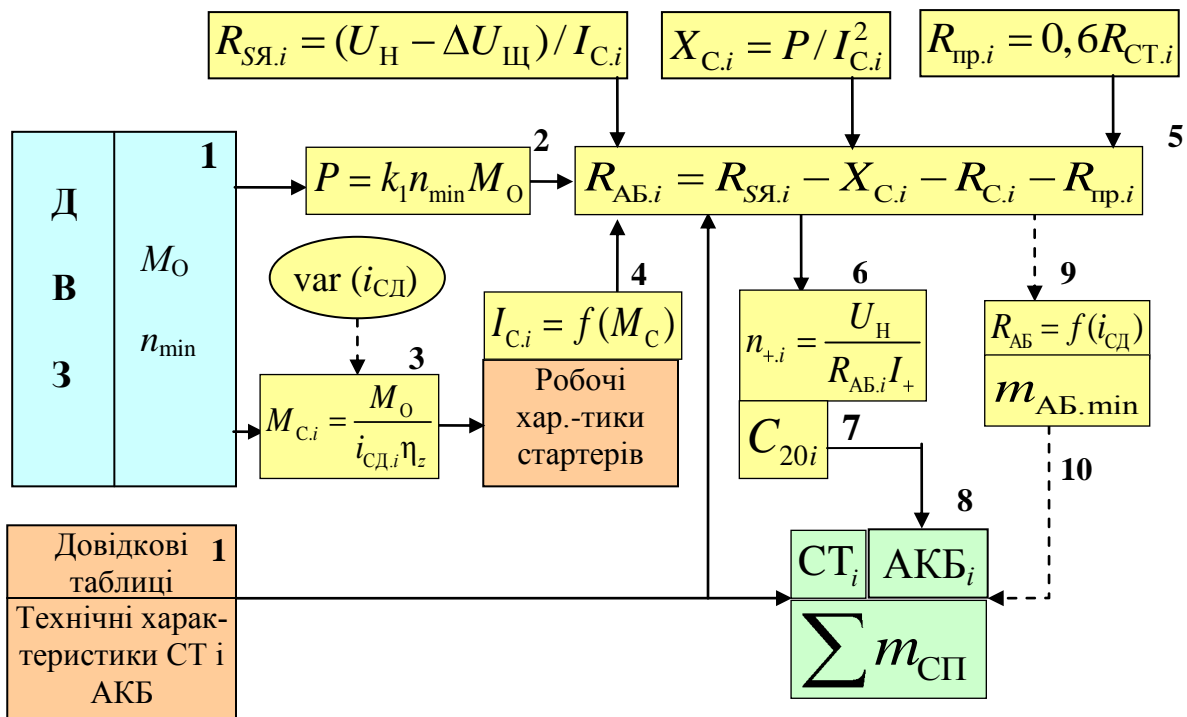


Рис. 2.3.3. Структурна схема підбора елементів системи пуску за опором стартера

Наведений метод підбору елементів системи пуску простіший за попередній, однак для його використання потрібна значна довідкова інформація.

2.3.4. Оптимізація передаточного числа приводу стартера

Оптимізація передаточного числа приводу стартера проводиться за мінімальною температурою при якій відбувається найважчий пуск ДВЗ. Оптимізація полягає у підборі кількості зубців ведучої шестерні таким чином, щоб забезпечити мінімальні пускові оберти ДВЗ при роботі стартера у режимі максимальної потужності в заданих температурних умовах. На практиці така доробка приводу (заміна шестерні) виконується тоді, коли треба адаптувати автомобіль до умов експлуатації за кліматичними зонами.

Частота прокручування колінчастого вала $n_{\text{п}}$ електростартером у різних умовах пуску визначається шляхом сполучення характеристик опору ДВЗ $M_{\text{о}} = f(n)$ і приведених до його валу механічних характеристик стартерного електродвигуна $M_{\text{с}}^{\text{д}} = f(n)$. Момент й частота обертання електродвигуна приводяться до вала ДВЗ через параметри механізму приводу

$$M_{\text{с}}^{\text{д}} = M_{\text{с}} i_{\text{сд}} \eta_z, \quad n_{\text{с}} = \frac{n_{\text{п}}}{i_{\text{сд}}}. \quad (2.3.22)$$

Система пуску вважається придатною для ДВЗ, якщо при заданій температурі пуску оберти прокручування ДВЗ стартером перевищують мінімальні пускові оберти ДВЗ. Зі зниженням температури момент опору ДВЗ зростає, а механічні характеристики стартера проходять нижче, тому частота прокручування $n_{\text{п}}$ колінчастого вала зменшується. Одночасно зі зниженням температури росте мінімальна пускова частота ДВЗ.

Момент опору ДВЗ приводиться до валу стартера через параметри механізму приводу

$$M_{\text{с}} = \frac{M_{\text{о}}}{i_{\text{сд}} \eta_z}, \quad (2.3.23)$$

Цей момент, відкладений на характеристиці стартерного електродвигуна $M_C = f(I_C)$, дозволяє визначити робочі струми якоря й відповідні їм значення корисної потужності P_C , частоти обертання n_C і напруги на затисках стартера U_C . Таким чином сила струму якоря залежить від моменту опору, передаточного числа й втрат потужності в редукторі приводу. Зі зниженням температури момент опору ДВЗ й обертаючий момент стартера зростають, а режим роботи зміщається у бік більших струмів якоря.

Потужність стартерного електродвигуна використовується найбільш ефективно, якщо при мінімальній температурі пуску t_{\min} забезпечується робота стартера у режимі максимальної корисної потужності $P_{C.m}$ [3, 10, 18, 20]. Правильне узгодження характеристик ДВЗ і системи пуску досягається підбором передаточного числа i_{CD} . Зі збільшенням i_{CD} момент M_C^d , приведений до валу ДВЗ збільшується, а приведена частота n_C зменшується. Механічна характеристика $M_C^d = f(n)$ проходить крутіше, а максимум потужнісної характеристики стартера $P_C^d = P_C \eta_z f(n)$ зміщається у бік меншої частоти обертання.

Вихідними даними для розрахунків є: типи обраних стартера і АКБ (робочі характеристики стартерного електродвигуна); передаточне число i_{CD} , виходячи з кількості зубців шестерні приводу обраного стартера z_1 і вінця маховика ДВЗ z_2 ; мінімальна температура пуску на замовлення t_{\min}^o ; пускові характеристики ДВЗ $\tau_{\Pi} = f(n, t^o)$, (рис. 2.2.2) і $M_O = f(n, t^o)$, (рис. 2.2.3).

Оптимізація передаточного числа виконується у такий спосіб.

1. Будують суміщені моментні характеристики (рис. 2.3.4) на підставі пускових характеристик ДВЗ $M_O = f(n, t^o)$ і робочих характеристик стартерного електродвигуна $M_C = f(n_C, t^o)$ (рис. 2.2.8), приведених до валу ДВЗ (2.3.22). Точки перетину характеристик визначають оберти прокручування колінчастого вала n_{Π} електростартером для заданих температур.

2. Будують залежність $n_{\Pi} = f(t^o)$, (рис. 2.3.5) та зіставляють її з залежністю $n_{\min} = f(t^o)$, яка отримана на підставі пускової характеристики ДВЗ $\tau_{\Pi} = f(n, t^o)$. Точка перетину характеристик визначає

мінімальну температуру пуску t_{\min}° і мінімальні оберти пуску n_{\min} при початковому значенні передаточного числа i_{CD} .

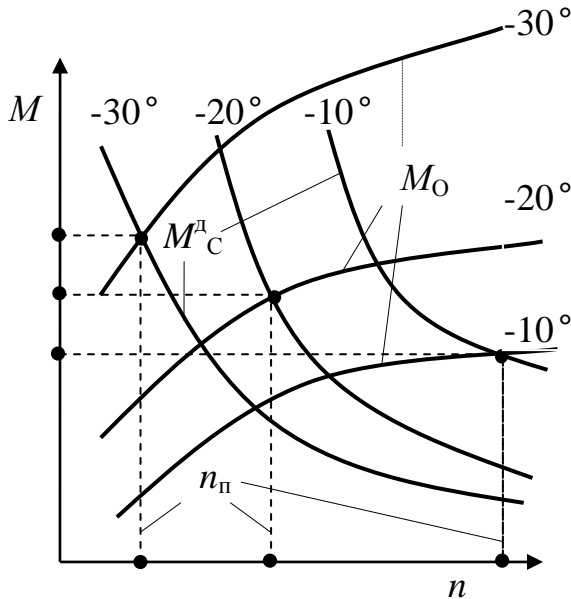


Рис. 2.3.4. Суміщені моментні характеристики

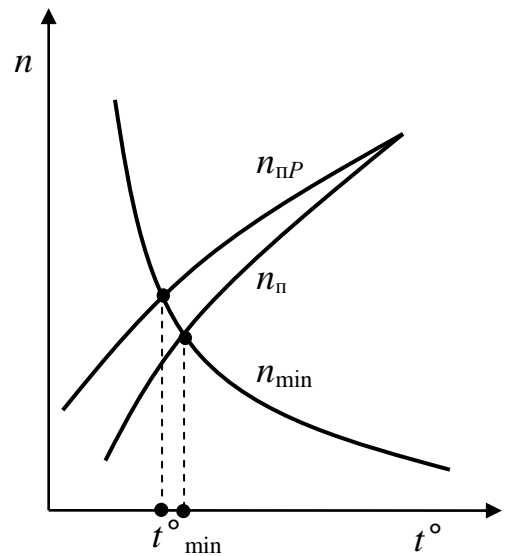


Рис. 2.3.5. Залежність оборотів від температури

3. Визначають придатність системи пуску (обраних стартера і АКБ) за умовою $n_{\text{II}} \geq n_{\min}$ при заданій температурі t_{\min}° . Якщо умова задовольняється, зупиняються на обраному спочатку стартері у зборі (з початковим передаточним числом). Якщо ні – продовжують розрахунок та визначають необхідне значення $i_{\text{CD,опт}}$.

4. Будують суміщені потужнісні характеристики для різних температур (рис. 2.3.6) на підставі робочих характеристик стартерного електродвигуна (рис. 2.2.8), приведених до колінчастого вала $P_{\text{C.m}}^{\text{д}} = P_{\text{C.m}} \eta_z$, і пускових характеристик ДВЗ $P_{\text{II}} = M_0 n_{\min}$, отриманих на підставі залежностей (рис. 2.2.3). Точки перетину характеристик визначають оберти прокручування колінчастого вала $n_{\text{II.P}}$, **що забезпечують пуск ДВЗ** за умовою роботи стартерного електродвигуна у режимі максимальної потужності.

5. Будують залежність $n_{\text{II.P}} = f(t^{\circ})$ та зіставляють її з пусковою характеристикою $n_{\min} = f(t^{\circ})$ (рис. 2.3.5). Точка перетину характеристик визначає мінімально можливу температуру пуску ДВЗ t_{\min}° (не залежно від передаточного числа) за умовою роботи стартерного електродвигуна у режимі максимальної потужності.

6. На підставі робочих характеристик стартера (рис. 2.2.8) будують залежність частоти обертання електродвигуна від температури пуску $n_{C.P} = f(t^\circ)$ у режимах максимальної потужності.

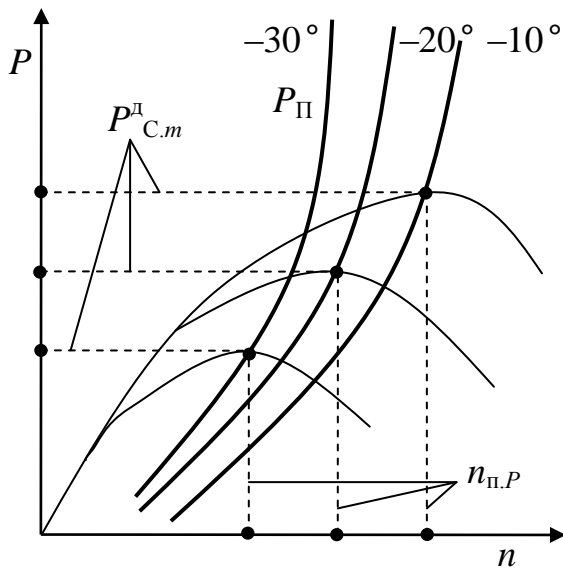


Рис. 2.3.6. Суміщені потужнісні характеристики

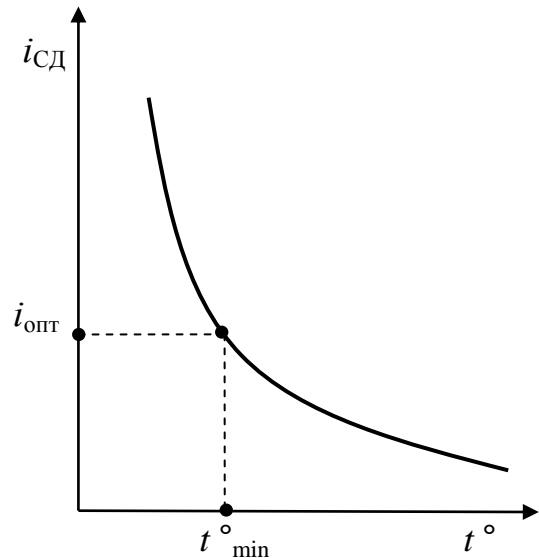


Рис. 2.3.7. Залежність передаточного числа від температури

7. Розраховують передаточні числа при яких забезпечуються мінімальні оберти прокручування на різних температурах за умовою роботи стартерного електродвигуна у режимі максимальної потужності

$$i_{CD}(t^\circ) = \frac{n_{C.P}(t^\circ)}{n_{II.P}(t^\circ)}. \quad (2.3.24)$$

8. За отриманими результатами будують залежність $i_{CD}=f(t^\circ)$, з якої визначають оптимальне значення $i_{CD,опт}$ для замовленої температури пуску t_{min}° (рис. 2.3.7). При цьому в самих важких умовах пуску (мінімальна температура) стартер працює в найбільш ефективному режимі (при максимальній потужності).

На рис. 2.3.8 наведено структурну схему графоаналітичних розрахунків при визначенні оптимального значення передаточного числа приводу стартера. Номери в прямокутниках відповідають номерам рисунків (графіків), номери біля стрілок – пунктам розрахунку.

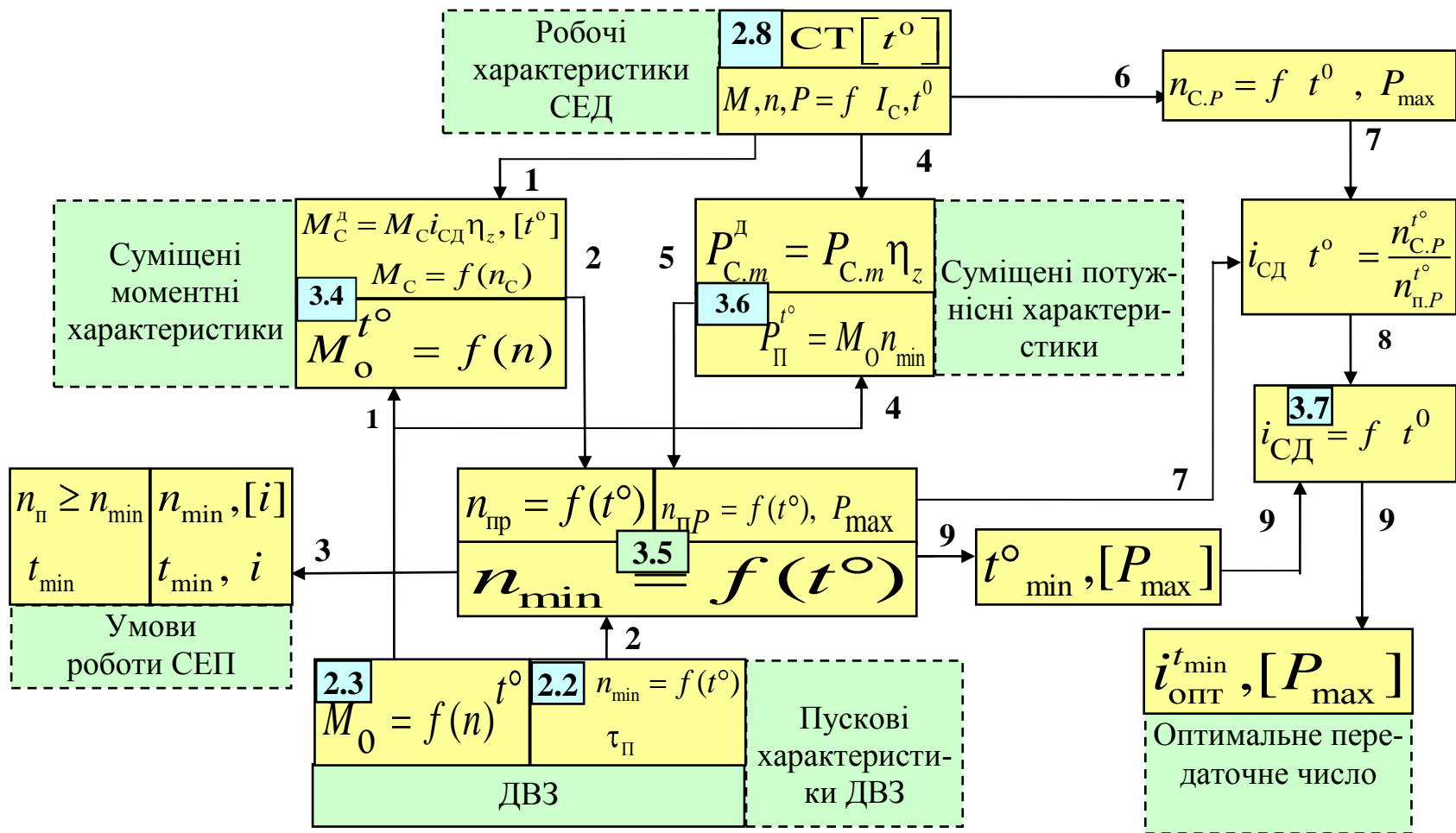


Рис. 2.3.8. Структурна схема оптимізації передаточного числа

2.3.5. Визначення відносного опору й номінальної ємності АКБ для системи пуску з мінімальною масою

Система електростартерного пуску має мінімальну сумарну масу елементів $m_{СП}$ або максимальну питому потужність $P/m_{СП}$ при певному відносному опорі АКБ. Величину оптимального відносного опору АКБ можна визначити на підставі умови мінімізації маси (2.3.1) та залежностей між структурними параметрами окремих елементів системи (2.3.2)...(2.3.4)

$$R'_{АБ} = \frac{1 - R'_{пр}}{1 + \frac{1}{U_H} \sqrt{\frac{I_+ W'_{АБ} m_C R_C}{\Delta C_{20}}}}. \quad (2.3.25)$$

Залежності маси системи пуску $m_{СП}$, її потужності P і питомої потужності $P/m_{СП}$ від величини відносного опору АКБ $R'_{АБ}$ показані на рис. 2.3.9.

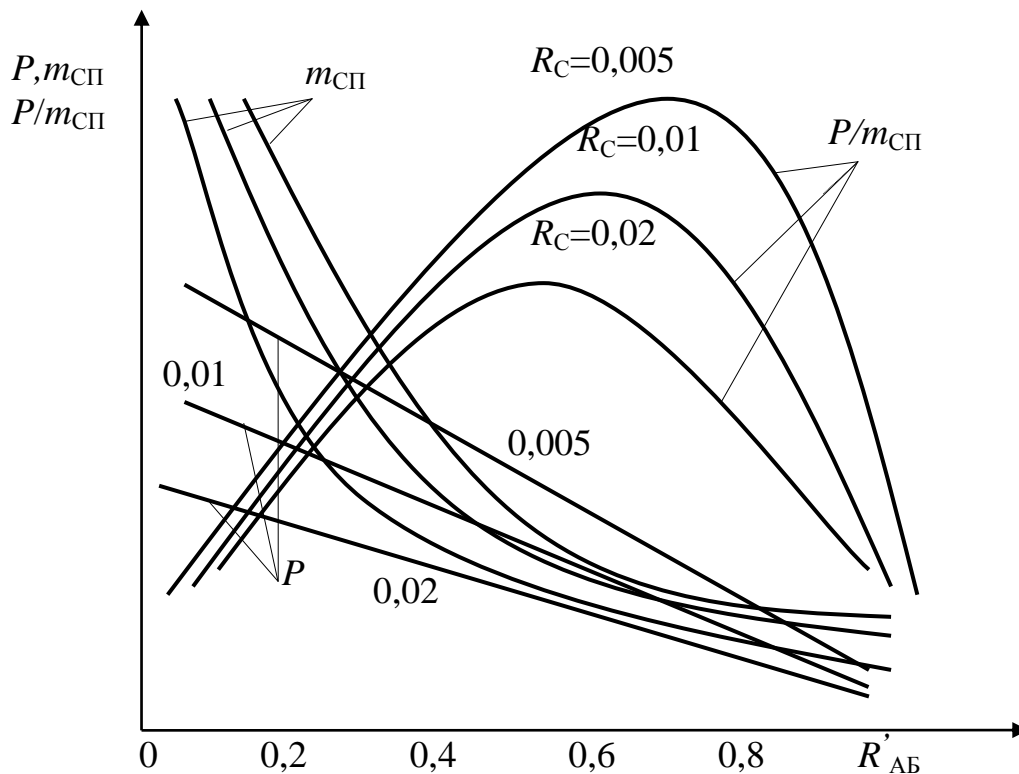


Рис. 2.3.9. Вплив відносного опору АКБ на параметри СЕП

Аналізуючи наведені залежності, можна відзначити таке. При постійних значеннях m_C , R_C зі зменшенням величини R'_{AB} : лінійно зростає потужність P ; інтенсивно збільшуються маси основних елементів системи $m_{СП}$ й m_{AB} ; функції $P/m_{СП} = f(R'_{AB})$ мають максимуми, які ростуть зі зменшенням R_C й, отже, зі збільшенням розрахункової потужності P .

Виходячи з цього, відносний опір АКБ визначається залежно від величини потужності, що розвиває система пуску (рис. 2.3.10).

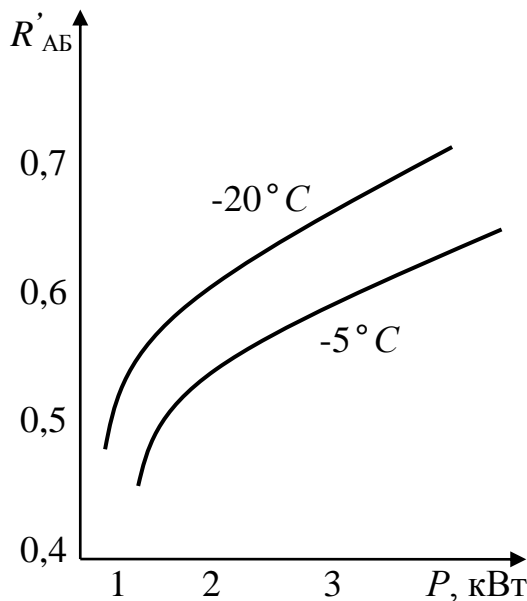


Рис. 2.3.10. Залежність відносного опору АКБ від потужності СЕП мінімальної маси

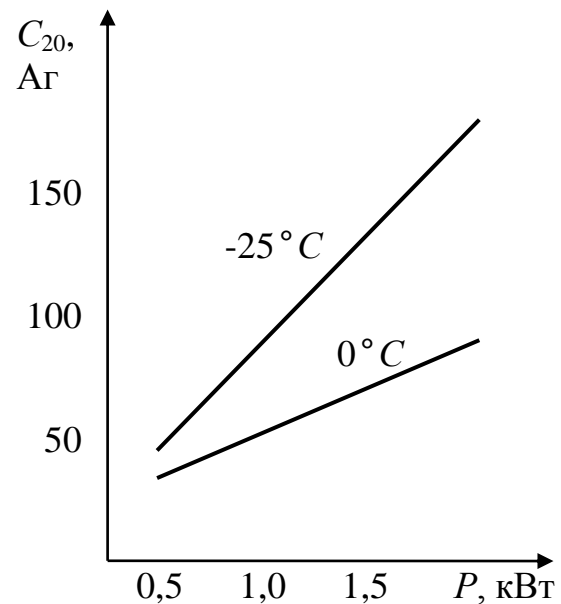


Рис. 2.3.11. Залежність номінальної ємності АКБ від потужності СЕП мінімальної маси

При однакових значеннях $R_{ЯС}$, зниження температури веде до збільшення ємності і маси АКБ за рахунок зменшення I_+ . Відповідно до виразу (2.3.25) R'_{AB} в такому разі обирають більшим. Незважаючи на збільшення R_{AB} , номінальна ємність системи пуску мінімальної маси зростає зі збільшенням потужності й зменшенням температури (рис. 2.3.11).

При мінімізації системи пуску за критерієм вартості вводиться поняття відносної вартості одиниці маси виробу $C = C_C / C_{AB}$, де C_C і C_{AB} – питомі вартості 1 кг стартера й АКБ з урахуванням технологічних витрат. Показник C у цьому випадку вноситься під корінь виразу при визначенні R'_{AB} .

2.3.6. Оптимізація параметрів стартерного проводу

Відносні втрати потужності в стартерному проводі ростуть пропорційно розрахунковій потужності системи пуску та змінюються зворотно пропорційно квадрату напруги, що підводиться до електродвигуна

$$\frac{\Delta P_{\text{пр}}}{P} = \frac{PR_{\text{пр}}}{(U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^2 (1 - K_{\text{С}})^2} = \frac{K_{\text{С}}}{1 - K_{\text{С}}} R'_{\text{пр}}. \quad (2.3.26)$$

На етапі попереднього розрахунку системи пуску допустимий опір стартерного проводу і гальванічної маси мережі підключення обирається виходячи з норм фірми виробника. Згідно з галузевим стандартом цей опір складає 0,002 Ом, що відповідає нормі падіння напруги 0,2 В під струмом 100 А. В такому разі для напруги борта $U_{\text{Н}}=12$ В при роботі стартера в режимі максимальної потужності $K_{\text{С}}=0,5$ і падінні напруги під щітками $\Delta U_{\text{Щ}}=1,5$ В, для розрахункової потужності $P=5$ кВт відносні втрати потужності складають 36% [10]. Підвищення напруги удвічі (до 24 В) при обраному значенні $R_{\text{пр}}$ дозволяє зменшити відносні втрати десь у чотири рази. Враховуючи це, потужні стартери проектуються на номінальну напругу 24 В.

При розрахунках систем пуску для обраного стартерного електродвигуна задаються довжиною проводу стартерної електромережі, а опір проводу визначається його перетином. Зі зменшенням перетину (зі збільшенням щільності струму $J_{\text{пр}}$) знижуються об'єм і маса стартерного проводу

$$m_{\text{пр}} = \frac{\rho_{\text{пр}} l_{\text{пр}} P}{(U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})(1 - K_{\text{С}}) J_{\text{пр}}}. \quad (2.3.27)$$

Однак зі зменшенням перетину при $l_{\text{пр}} - \text{const}$ зростає $R'_{\text{пр}}$ та як наслідок збільшуються втрати потужності в мережі. У результаті збільшуються розміри й маса АКБ і стартера, які проектується на задану потужність. Для вирішення такої компромісної задачі визначаються оптимальні значення щільності струму в стартерному проводі при певних значеннях його довжини. На практиці користуються довідковими залежностями у вигляді графіків (рис. 2.3.12).

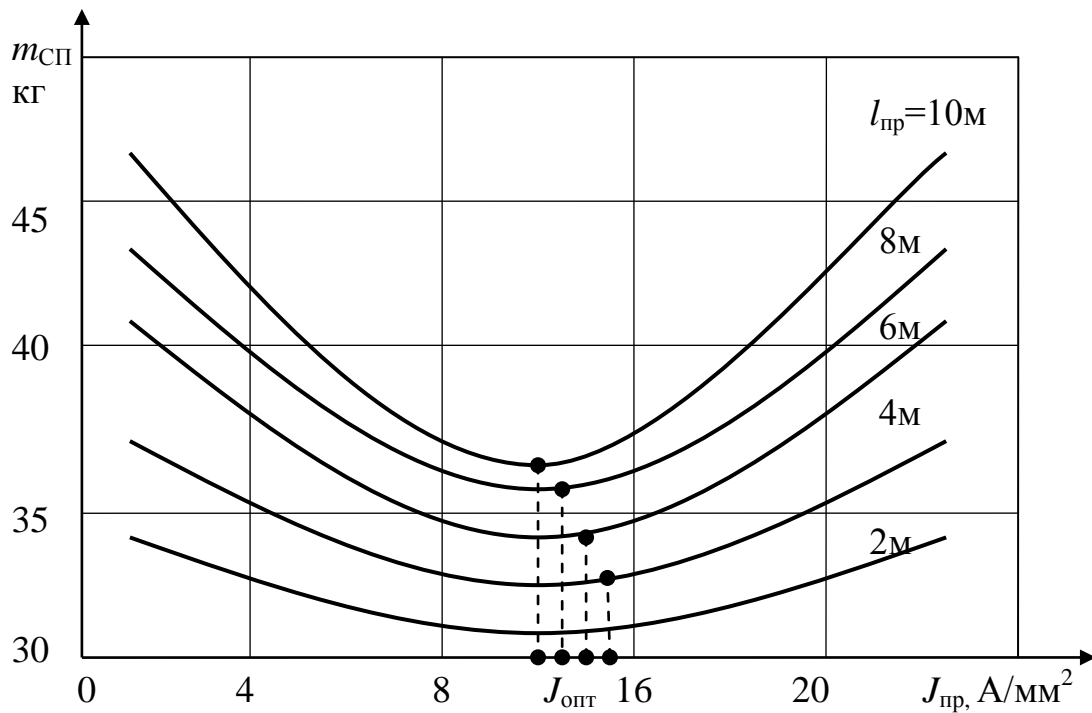


Рис. 2.3.12. До визначення мінімальної маси СЕП залежно від щільності струму та довжини проводу

Згідно з нормами закордонних виробників щільність струму в мідному стартерному проводі обмежується до $20 A/mm^2$.

Крім силового проводу додаткове падіння напруги виникає на тяговому реле та засобах комутації. Згідно з держстандартом це падіння не повинно перевищувати $2,4 V$ (для бортової напруги $12 V$) при номінальному струмі мережі керування. Закордонними виробниками нормується загальний опір мережі керування в межах $0,03 - 0,07 \text{ Ом}$.