

3.2. Аналіз режимів системи електропостачання та оптимізація параметрів її елементів

3.2.1. Розподіл потужності по колах живлення споживачів

Еквівалентна схема бортової мережі електропостачання для заданих параметрів її елементів представлена на рис. 3.2.1.

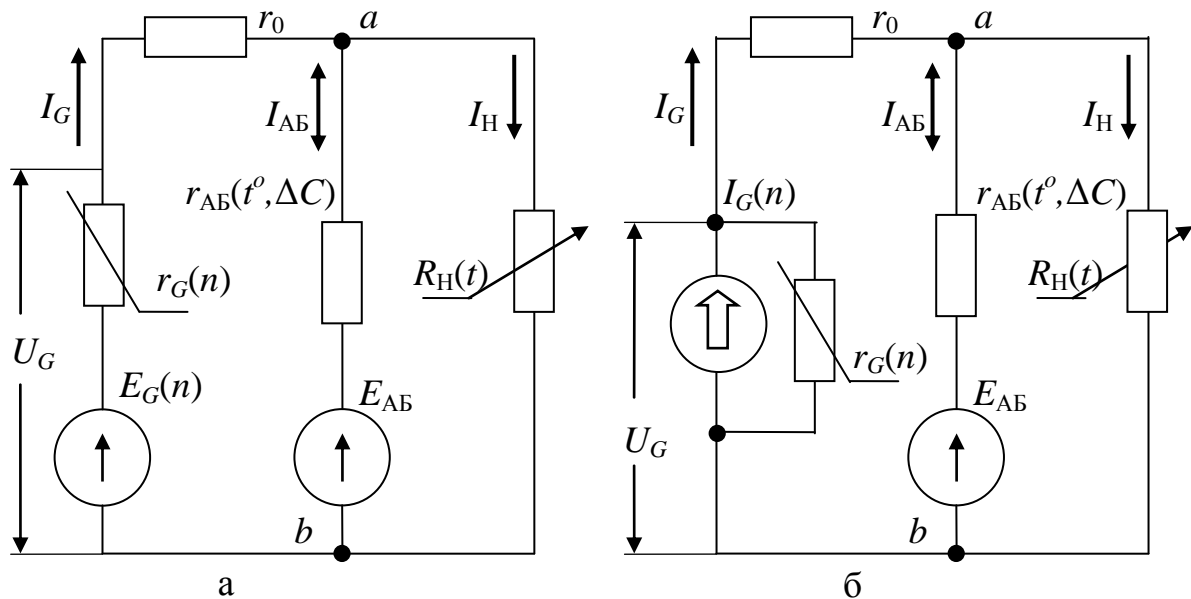


Рис. 3.2.1. Еквівалентні схеми системи електропостачання із заміщенням генератора: а – у вигляді джерела ЕРС; б – у вигляді джерела струму

Генератор характеризується вироблюваною ЕРС - E_G і внутрішнім опором r_G , акумуляторна батарея відповідно - E_{AB} , r_{AB} . Еквівалентне навантаження системи R_H заміщує на схемах споживачів потужності. Величина опору R_H змінюється під час експлуатації автомобіля. Опір кола на ділянці АКБ–генератор позначено r_0 . Для наведених схем можна скласти систему рівнянь за законами Кірхгофа

$$\left. \begin{aligned} U_G &= I_G r_0 + I_H R_H \\ E_{AB} &= I_{AB} r_{AB} + I_H R_H \\ I_H &= I_G + I_{AB} \end{aligned} \right\} \quad (3.2.1)$$

Перше рівняння описує коло схеми без АКБ, друге – без генератора, третє – справедливо для узгодженого режиму роботи обох джерел енергії. Вирішуючи систему (3.2.1) відносно струмів у гіл-

ках схеми, одержимо рівняння, що описують систему електропостачання при визначених параметрах її елементів (вирішення задачі в загальному виді)

$$I_G = U_G r_{AB} + (U_G - E_{AB}) R_H / R_H r_0 + r_{AB} (r_0 + R_H) ,$$

$$I_{AB} = \pm \left[\begin{array}{cc} U_G - E_{AB} & R_H - E_{AB} r_0 \end{array} \right] / \left[\begin{array}{cc} R_H r_0 + r_{AB} & r_0 + R_H \end{array} \right] , \quad (3.2.2)$$

$$I_H = U_G r_{AB} + E_{AB} r_0 / R_H r_0 + r_{AB} (r_0 + R_H) .$$

Слід зауважити, що величина ЕРС генератора залежить від швидкісного режиму ДВЗ та її поточні значення, при постійному струмі збудження $I_3 - const$ визначаються швидкісною характеристикою електричної машини $E_G = f(n)$. З іншого боку, генератор в системі працює з регулятором напруги і його можна представити у вигляді джерела струму з постійною номінальною напругою на виході U_H (рис. 3.2.1, б). В такому разі, струм генератора визначається струмо-швидкісною характеристикою машини $I_G = f(n)$ та враховується ефект самообмеження струму (реакція якорю) в генераторах змінного струму.

Струмо-швидкісна характеристика автомобільного генератора змінного струму будується для фіксованих значень напруги $U_H - const$ та струму збудження $I_3 - const$ і може апроксимуватися експоненціальною залежністю [4, 18]

$$I_G(n) = I_{G_{max}} \left[1 - e^{-\left(\frac{n_{GX} - n}{n_{GX}} \right)} \right] , \quad (3.2.3)$$

де $I_{G_{max}}$ – максимальний струм, що віддає генератор (залежно від його потужності та номінальної напруги)

n_{GX} – оберти холостого ходу генератора.

Швидкісна та струмо-швидкісна характеристики описують потенційну можливість генератора, щодо віддачі потужності в мережу живлення при заданих швидкісних режимах. Реальна потужність, яку забезпечує генератор в системі, визначається його струмовим навантаженням. Щоб адекватно описати генератор, як джерело регульованої напруги, слід визначити залежність його внутрішнього

опору від швидкісного режиму і ступеню збудження одночасно $r_G=f(n, I_3)$ та призначити $E_G=U_H$. На практиці, нема потреби вирішувати таку задачу, тому що в експлуатаційних умовах навантаження генератора та швидкість його обертання не мають ніякої залежності між собою.

Слід також зазначити що напруга та внутрішній опір АКБ в експлуатаційних умовах (див. формулу 2.2.11) залежать від температури електроліту $t_{\text{ел}}^{\circ}$ та ступеню розрідженості ΔC_p (фактичної ємності АКБ). Параметри $t_{\text{ел}}^{\circ}$ та ΔC_p змінюються у часі та у свою чергу залежать від режимів зарядно-розрядного циклу та температурних умов експлуатації [10].

В залежності від співвідношення значень струму генератора I_G і струму в навантаженні I_H , розрізняють три характерні режими системи електропостачання.

Розвантажений режим заряду АКБ, коли $I_H=0$, ($R_H = \infty$). В цьому режимі при $U_G > E_{\text{АБ}}$ відбувається заряд АКБ струмом генератора $I_G = I_{\text{АБ}} = U_G - E_{\text{АБ}} / r_{\text{АБ}} + r_0$.

Режим заряду АКБ під час навантаження системи, коли $I_H \leq I_G$. В цьому випадку при зниженні опору навантаження, зарядний струм АКБ зменшується й при $R_H = E_{\text{АБ}} r_0 / (U_G - E_{\text{АБ}})$ струм заряду АКБ дорівнює нулю. Живлення споживачів при цьому відбувається тільки за рахунок енергії генератора $I_H = I_G$.

Режим розряду АКБ, коли $I_H \geq I_G$. Для такого режиму опір споживачів визначається за умовою $R_H < E_{\text{АБ}} r_{\text{АБ}} / (U_G - E_{\text{АБ}})$.

Таким чином режим системи електропостачання визначається: швидкісним режимом $n(t)$ та потужністю генератора, рівнем напруги, що регулюється U_H , параметрами та станом АКБ ($E_{\text{АБ}}$, $r_{\text{АБ}}$), навантаженням споживачами R_H .

Рівняння (3.2.1), (3.2.2) з урахуванням (3.2.3), (2.2.11) являють рішення задачі в загальному виді при стаціонарних експлуатаційних умовах. Щоб визначити режими системи на будь який момент періоду експлуатації, необхідно задатися часовими функціями транспортного циклу $n=f(t)$, $R_H=f(t)$ та визначити температурний стан АКБ.

3.2.2. Статистичний аналіз транспортного циклу

Транспортний (їздовий) цикл це функція, що описує зміну вихідних характеристик транспортного засобу протягом певного періоду часу або за визначений пробіг, який повторюється під час експлуатації (міський, міжміський, автобусний, маршрутний).

Під час експлуатації автомобіля швидкісний режим генератора носить випадковий характер та залежить від режимів руху (за призначенням транспорту) та умов руху (по місту чи по шосе, у день чи у ночі, в літку чи зимою). Для окремих типів (категорій) рухомого складу можна встановити статистичні залежності (статичні характеристики випадково-змінного процесу) між струмом, що потребується споживачами борта та обертами генератора на цей час.

Найпростішими статичними характеристиками є функція розподілу та щільність ймовірності випадкової величини. Для аналізу режимів системи електропостачання як вихідні розглядаються дані циклограми транспортного циклу, отримані на підставі хронометричних спостережень або шляхом аналітичних розрахунків (для конкретних маршрутів). Залежно від постановки задачі циклограма може відображати характер розподілу швидкості руху, обертів двигуна, забезпечення необхідного крутного моменту чи потужності на колесах за період часу чи на заданому пробігу. Для прикладу, проаналізуємо часову циклограму швидкості руху автомобіля яка використовується для визначення потужності, що віддає генератор в мережу живлення (рис. 3.2.2).

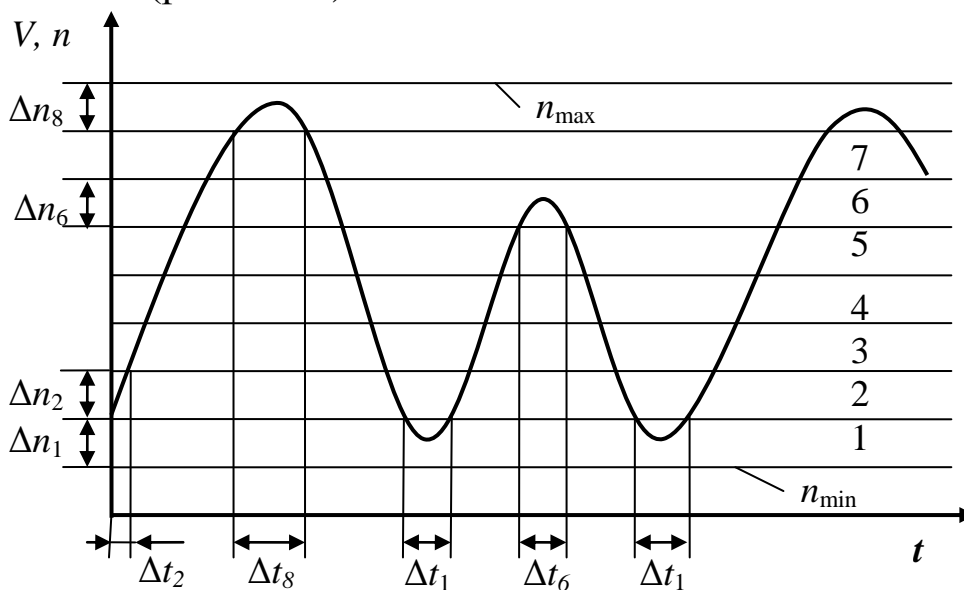


Рис. 3.2.2. Циклограма транспортного процесу

Щоб перейти від режиму руху транспортного засобу до швидкісного режиму генератора треба враховувати: передаточні відношення приводу генератора i_G , коробки передач $i_{КП}$, головної передачі заднього моста $i_{ЗМ}$; статичний радіус ведучих коліс $R_{кол}$. Перелічені характеристики враховуються через коефіцієнт обертаності, який пов'язує частоту обертання генератора n_G зі швидкістю руху транспортного засобу V_A

$$K_G = \frac{n_G}{V_A} = 2660 \frac{i_G i_{КП} i_{ЗМ}}{R_{кол}}, \quad (3.2.4)$$

Швидкісну циклограму (рис. 3.2.2) перетворюють до діаграми розподілу частот обертання генератора $n_G(t) = K_G V_A(t)$ та поділяють на окремі діапазони частот. Функцію $n(t)$ поділяють на однакові швидкісні діапазони Δn та визначають періоди часу Δt_i перебування генератору в межах цих діапазонів.

На основі аналізу, побудованої у такий спосіб діаграми, визначають відносний час кожного режиму, який розглядається як ймовірність перебування генератора в заданому діапазоні частот

$$p_i = \frac{\sum_{j=1} t_{i,j}}{t_B}. \quad (3.2.5)$$

де j – часові фрагменти перебування генератора на i -тому швидкісному режимі.

В загальному випадку треба також враховувати ймовірність руху автомобіля накатом p_H , коли швидкість автомобіля має кінцеві значення, а генератор перебуває на обертах холостого ходу та ймовірність роботи ДВЗ на обертах холостого ходу p_X , коли автомобіль не рухається. При практичних розрахунках вважають ці ймовірності врівноваженими.

Отримані результати використовуються для побудування функції розподілу ймовірності обертання генератора з частотою нижче означених обертів за базовий період часу (рис. 3.2.3).

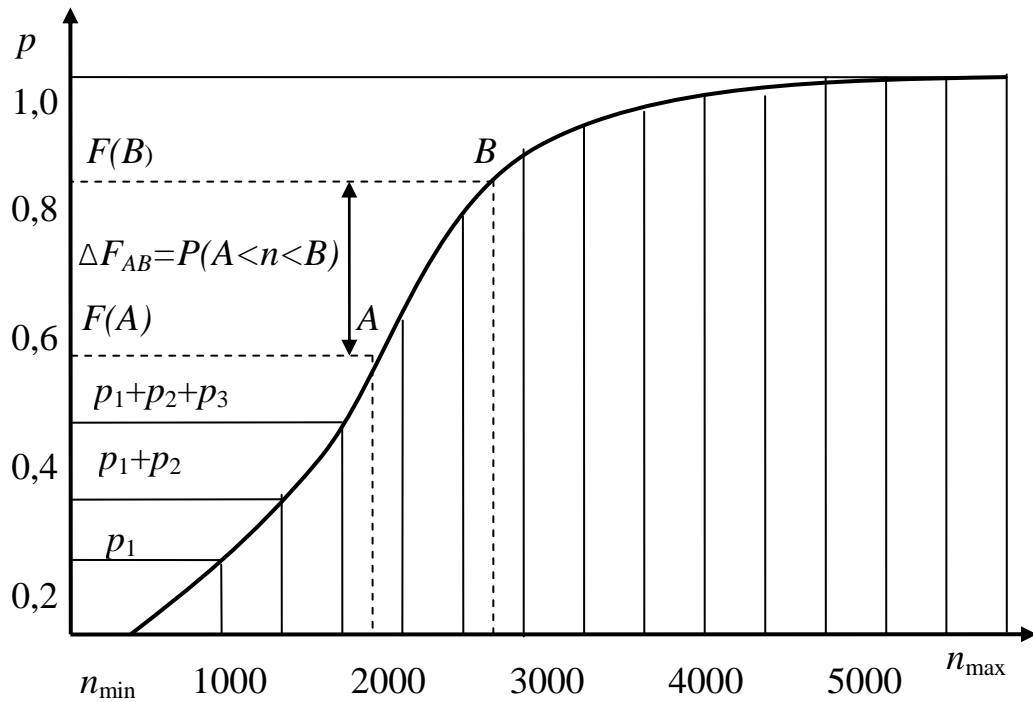


Рис. 3.2.3. Розподіл ймовірності перебування генератора в частотному діапазоні

На практиці за результатами статистичного аналізу будують так звані інтегральні криві розподілу ймовірності обертання генератора на визначеній частоті для різних типів рухомого складу та умов руху. Для поменшання кількості характеристик, що розглядаються залежно від конкретної марки транспортного засобу, виконують приведення їх до загального коефіцієнту обертаності $K_G=60[\text{хв}^{-1}\text{год/км}]$. В результаті приведення отримують типові залежності, що необхідні для розрахунку балансу енергії (рис. 3.2.4).

Щоб перейти від типових залежностей до кривих, що характеризують розподіл частоти конкретного транспортного засобу, слід перерахувати вісь обертів n^1 відносно фактичного коефіцієнта обертаності. При цьому початкові оберти генератора n_0 визначаються через оберти холостого ходу ДВЗ $n_{\text{ХХ}}$

$$n^1 = n \frac{K_G}{60}, \quad n_0 = n_{\text{ХХ}} i_G. \quad (3.2.6)$$

У загальному виді кількість енергії в ампер-годинах (при постійній напрузі), яку виробляє генератор, визначають шляхом інтегрування струму, який забезпечує генератор за базовий період часу t_B

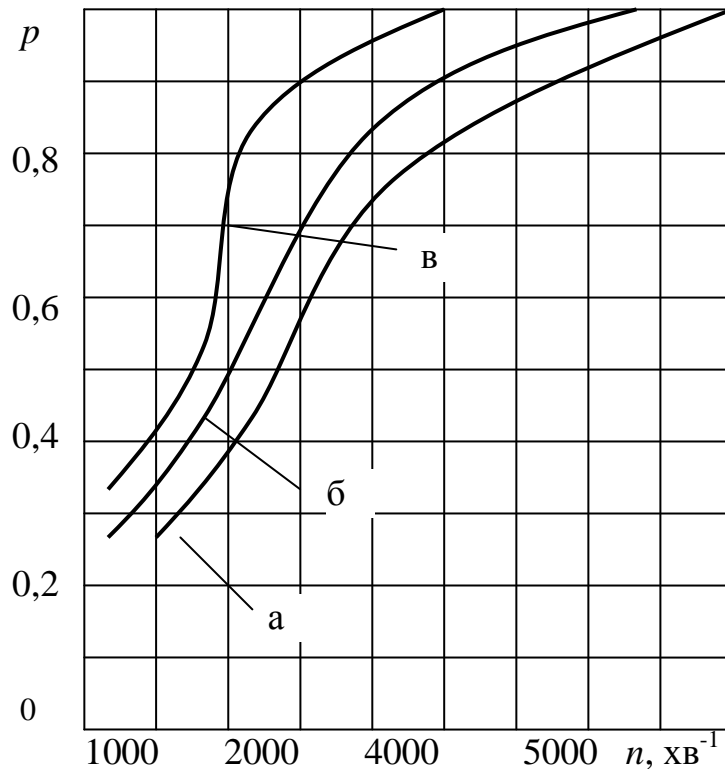


Рис. 3.2.4. Типові (інтегральні) залежності, розподілу ймовірності роботи генератора на обертах нижче заданих при експлуатації: а – легкових автомобілів; б – вантажівок; в – автобусів

$$Q_G = \int^{t_B} I dt . \quad (3.2.7)$$

З позицій оцінки генератора як перетворювача енергії розглядають струмо-швидкісну характеристику $I_G=f(n)$, яка встановлює зв'язок між витраченою механічною та отриманою електричною енергіями. Ця характеристика може надаватися у паспорті обраного типу генератору, бути отриманою за результатами досліджень або апроксимуватися виразом (3.2.3) на етапі попереднього розрахунку.

Для визначення кількості енергії яку генератор може виробити при заданому режимі руху, аналізують суміщені швидкісні характеристики (рис. 3.2.5). За допомогою цих характеристик розраховують кількість ампер-годин, що віддає генератор за базовий період часу. Для цього (3.2.7) вирішують у кінечно-мірному виді [4]

$$Q_G = t_B \sum_{i=1}^{\nu} I_{i, \text{cp}} \Delta p_i = t_B \sum_{i=1}^{\nu} \frac{I_i + I_{i-1}}{2} (p_i - p_{i-1}) , \quad (3.2.8)$$

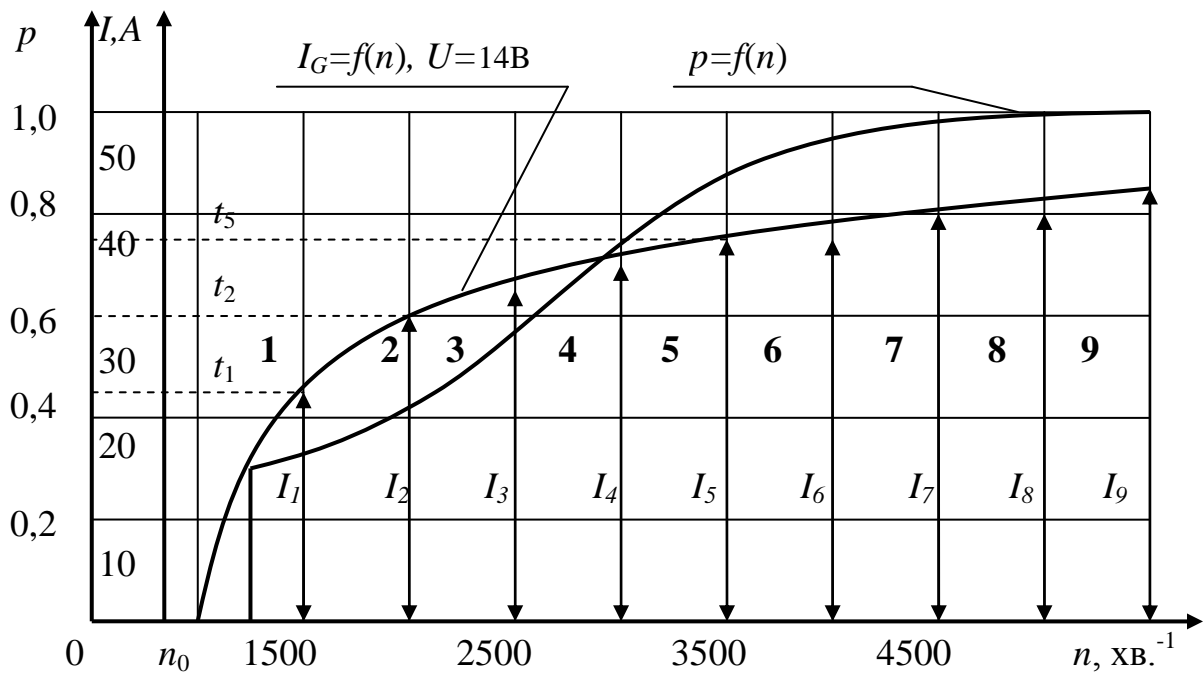


Рис. 3.2.5. Суміщені характеристики швидкісного режиму та стуму, що забезпечує генератор

де i - поточні номери діапазонів частот обертання генератора;
 ν - кількість швидкісних діапазонів;
 I_i - струм, що віддає генератор по правій границі i -го діапазону;
 p_i - відносний час (ймовірність) роботи генератора по правій границі i -го діапазону;
 $I_{i,ср}$ - середні значення струму в i -ому діапазоні;
 Δp_i - відносний час (ймовірність) роботи генератора в i -ому діапазоні.

3.2.3. Критерії вибору джерел бортового живлення

Акумуляторна батарея є спільним елементом системи пуску та системи електропостачання. Ємність АКБ обирається за умовою забезпечення пуску автомобіля, виходячи з потужності стартера. Потужність генератора, вид його струмо-швидкісної характеристики та рівень напруги, що підтримується на борту регулятором напруги, обираються за умовою забезпечення електроенергією всіх споживачів борта при підтримці працездатності (ємності, внутрішнього опору) АКБ протягом певного терміну.

З метою подовження терміну служби АКБ обраної ємності, характеристики генераторної установки та споживачів електроенергії узгоджують таким чином, щоб виключити можливість глибокого розряду, або постійного перезаряду АКБ в умовах експлуатації. Придатність генераторного пристрою до борту автомобіля визначають за балансом електроенергії цього борта. Під балансом енергії борта автомобіля розуміють різницю між кількістю енергії, що виробляє генератор та кількістю енергії, потрібної для живлення споживачів за базовий період часу (година, доба, транспортний цикл).

Розрахунок зарядного балансу АКБ полягає в порівнянні енергії, що витрачається на заряд АКБ та енергії, яку АКБ віддає в мережу живлення. Розрахунок балансів енергії виконується з метою оптимізації бортових джерел енергії (генератора, АКБ) при проектуванні систем електропостачання та пуску ДВЗ або при встановленні на боту транспортного засобу додаткових (не штатних) споживачів. До розбалансу енергії борта також може привести відхилення умов та режимів експлуатації транспортного засобу (цілодобова робота з ввімкненими фарами та отоплювачем).

Під час вибору типу генератора для борта автомобіля з визначеним складом споживачів прагнуть обрати генератор мінімально необхідної потужності. Це пов'язано з невиправданими втратами потужності ДВЗ на подолання гальмівного моменту, що спричиняє генератор та перезарядом АКБ.

На підставі статистичного аналізу (обробки хронометричних спостережень) визначають коефіцієнти часу роботи $K_{\text{ч}}$ (відношення часу роботи споживача до часу роботи ДВЗ) та коефіцієнти навантаження $K_{\text{н}}$ для споживачів не постійного включення (середнє споживання потужності за період роботи автомобіля). Для попередньої оцінки необхідної потужності генератора визначають розрахункове навантаження від споживачів борта

$$I_{\text{PC}} = \sum_{i=1}^N I_{\text{Hi}} K_{\text{чi}} K_{\text{Hi}} . \quad (3.2.9)$$

Необхідний номінальний струм генератора в загальному вигляді визначають з урахуванням можливого розряду АКБ

$$I_{\text{GH}} = I_{\text{PC}} / (1 - \tau_{\text{p}}) . \quad (3.2.10)$$

де τ_p - відносний час розряду АКБ (без роботи ДВЗ).

Підсумковий час розряду АКБ за базовий період визначають за результатами хронометричних спостережень (кількість та тривалість періодів пуску ДВЗ, освітлення та теплення на стоянках).

Необхідну номінальну потужність генератора визначають через номінальну напругу АКБ та розрахунковий струм споживачів з урахуванням умов заряду АКБ

$$P_{GH} = k_{AB} U_{AB} I_{PC} , \quad (3.2.11)$$

де k_{AB} – коефіцієнт, що враховує оптимальний режим заряду АКБ ($k_{AB}=1,15$ для легкових автомобілів, $k_{AB}=1,25$ – для вантажівок).

Якщо система електропостачання проектується для нового борта (склад споживачів, режими їх навантаження та умови експлуатації транспортного засобу відрізняються від середньостатистичних) параметри генератора слід визначати за результатами розрахунку балансу енергії. При цьому, якщо режим руху має певні особливості, залежність (рис. 3.2.3) будується персонально для обраної категорії автомобілів.

Згідно до нормативних документів придатність системи електропостачання оцінюють за добовим балансом енергії при експлуатації транспортного засобу у місті взимку та за годинним зарядженням або розрядженням АКБ. При цьому розбаланс АКБ за годину визначають як відсоток від номінальної ємності АКБ, що експлуатується в найбільш важких умовах (зима, місто, ніч).

Система електропостачання вважається придатною, якщо добовий баланс енергії борта позитивний та негативний годинний баланс енергії АКБ не перевищує припустимих значень, що обумовлені в нормативних документах. Позитивний добовий баланс виключає можливість щоденного розрядження АКБ (втрати ємності) в режимі циклування. Негативний годинний баланс виключає можливість перезарядження АКБ при відхиленнях режимів системи електропостачання від середньостатистичних (робота ДВЗ на підвищених обертах при мінімальній потужності підключених споживачів).

3.2.4. Методика розрахунку балансу енергії борта та зарядного балансу АКБ

Метою розрахунку балансів енергії є вибір типу генератора для системи електропостачання або перевірка придатності обраного генератора при заданих параметрах АКБ.

Як вихідні дані при розрахунку балансів енергії розглядаються: склад споживачів, значення їхніх номінальних струмів або потужностей, характер роботи споживачів в експлуатаційних режимах, передаточні числа трансмісії та приводу генератора, стумошвидкісна характеристика генератора (якщо перевіряється придатність запропонованого типу генератора), зарядно-розрядні характеристики АКБ, циклограма транспортного режиму $V=f(t)$, яку треба підтримувати. Розрахунок балансу енергії борта виконується в наступній послідовності (рис. 3.2.6).

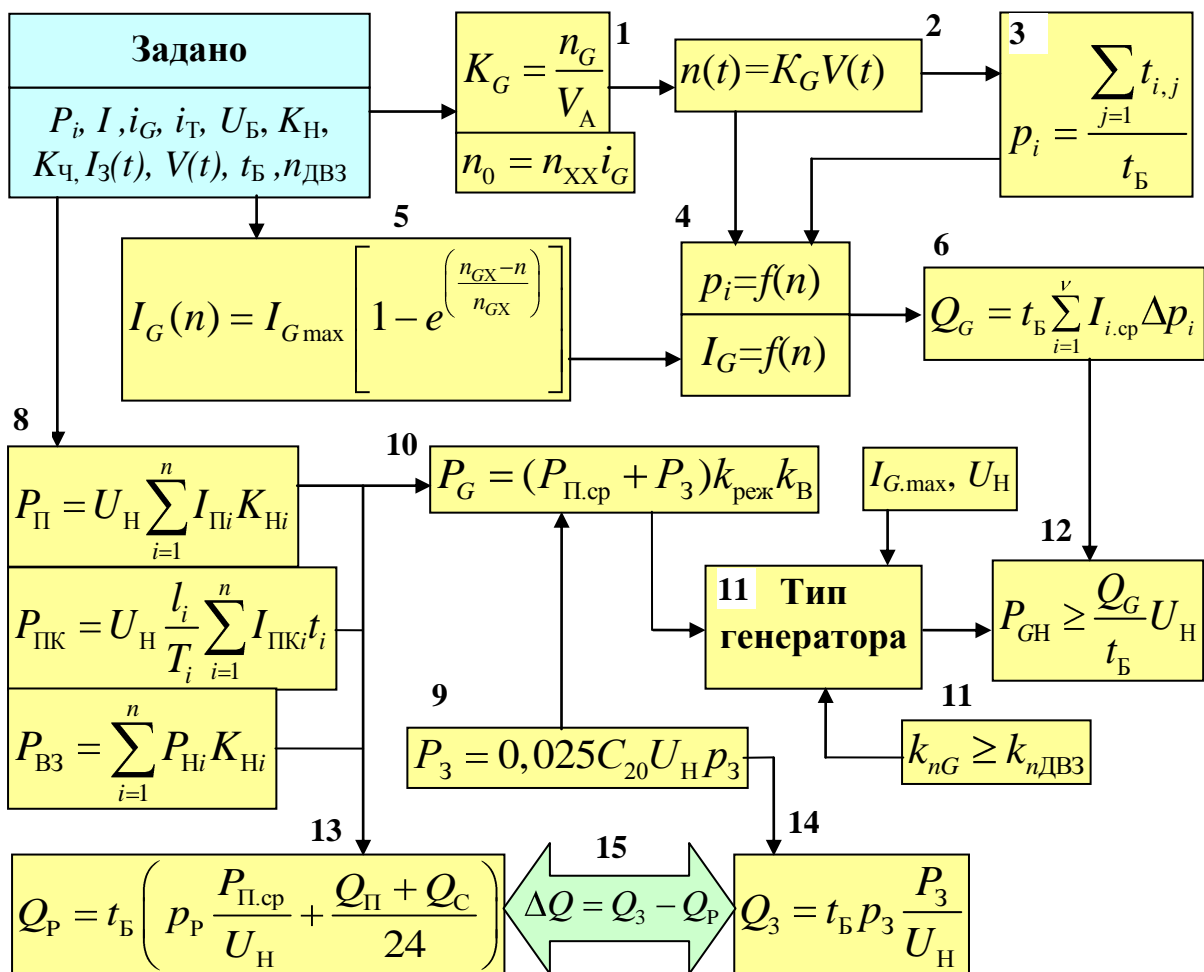


Рис. 3.2.6. Схема розрахунку балансів енергії

1. Розраховують коефіцієнт обертаності K_G згідно (3.2.4) та визначають початкові оберти n_0 (3.2.6).

2. Циклограму, що задана $V=f(t)$, перетворюють до діаграми розподілу частот обертання генератора $n(t)=K_G V(t)$ та поділяють на окремі діапазони частот. По часовій осі визначають відповідні інтервали часу протягом якого генератор перебуває у заданому швидкісному режимі (рис. 3.2.2).

3. На підставі аналізу діаграми розподілу частот обертання визначають ймовірність перебування генератора в заданому швидкісному діапазоні згідно (3.2.5).

4. Діаграму (рис. 3.2.2) перебудовують у графік функції розподілу ймовірності по швидкісним діапазонам $p_i=f(n)$ (рис. 3.2.3).

5. На осі обертів графіка (рис. 3.2.2) добудовують стумо-швидкісну характеристику генератора $I_G=f(n)$ який пропонується або функцію, що її апроксимує (3.2.3) по заданих значеннях навантаження, співвідношенню шківів приводу генератора та швидкісному діапазону ДВЗ. Значення $I_{G,max}$ (вразі підбору генератора) обирають, виходячи з пікових навантажень борта.

6. По сполученим характеристикам (рис. 3.2.5) розраховують кількість ампер-годин Q_G , що віддає генератор за базовий період, згідно виразу (3.2.8).

7. За результатами аналізу характеру роботи споживачів в експлуатаційних режимах (вихідні дані) визначають відповідні коефіцієнти часу $K_{ч}$ й навантаження $K_{н}$, (або обирають по довідковим таблицям).

8. Розраховують потужність, що витрачається споживачами енергії. При цьому розрізняють три складові потужності, що споживається (три типи споживачів):

Потужність споживачів, які працюють з постійним навантаженням (система запалювання, прилади освітлення, отоплювач) визначається через струм споживання

$$P_{\Pi} = U_{\text{н}} \sum_{i=1}^n I_{\Pi i} K_{\text{н}i} , \quad (3.2.12)$$

де $K_{\text{н}i}$ - коефіцієнт навантаження i -го споживача;

$U_{\text{н}}$ – номінальна напруга бортової мережі;

$I_{\Pi i}$, - струм, що споживаються i -м споживачем.

Потужність споживачів, які працюють у повторно короткочасному режимі (двірники, сигнали поворотів) визначається з урахуванням параметрів циклічного режиму

$$P_{\text{ПК}} = U_{\text{H}} \frac{l_i}{T_i} \sum_{i=1}^n I_{\text{ПК}i} t_i, \quad (3.2.13)$$

де $I_{\text{ПК}i}$ - струм, що споживається i -м споживачем при постійному включенні;

t_i - час роботи i -го споживача в циклі;

l_i - кількість циклів за час роботи i -го споживача;

T_i - період переключення i -го споживача в циклі.

Потужність споживачів, які працюють з випадково-змінним навантаженням (стартер) підраховують з урахуванням коефіцієнту навантаження

$$P_{\text{ВЗ}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{Hi}} K_{\text{Hi}}, \quad (3.2.14)$$

де P_{Hi} - номінальна потужність i -го споживача.

Загальна потужність споживачів визначається як сума її складових

$$P_{\text{П.ср}} = P_{\text{П}} + P_{\text{ПК}} + P_{\text{ВЗ}}. \quad (3.2.15)$$

При розрахунках середню споживану потужність $P_{\text{П.ср}}$ визначають для найбільш напруженого режиму місто-зима-ніч.

9. Визначають потужність, необхідну для заряду АКБ виходячи з номінального режиму заряду

$$P_3 = 0,025 C_{20} U_{\text{H}} p_3, \quad (3.2.16)$$

де C_{20} – номінальна ємність АКБ;

$p_3 = t_3 / t_{\text{в}}$ - відносний час заряду АКБ при працюючому ДВЗ.

Якщо оберти неробочого ходу генератора не перевищують початкові n_0 , вважають $p_3 = 1$. Якщо навпаки p_3 визначають за розподілом частоти обертання генератора (рис. 3.2.2). Вразі значного відхилення умов заряду АКБ в системі, що проектується (форсований

заряд, застосування АКБ з оригінальними характеристиками), від загально прийнятих норм, потужність яка витрачається на заряд, визначають на підставі зарядних характеристик АКБ.

10. Визначають потрібну потужність генератора з урахуванням допустимого режиму навантаження $k_{\text{реж}}$ та схеми випрямляча $k_{\text{В}}$

$$P_G = (P_{\text{П.ср}} + P_3)k_{\text{реж}}k_{\text{В}} . \quad (3.2.17)$$

Коефіцієнт режиму визначає теплове навантаження генератора (робочу точку стумо-швидкісної характеристики при номінальному навантаженні). Величину $k_{\text{реж}}$ обирають за рекомендованими значеннями в залежності від умов експлуатації. Коефіцієнт схеми $k_{\text{В}}$ враховує діюче значення струму при одно чи двонапівперіодному випрямленні (довідкові дані).

11. По розрахованому значенню P_G , обраному піковому навантаженню $I_{G.\text{max}}$ та номінальній напрузі борта $U_{\text{Н}}$ обирають тип генератора. При виборі генератора необхідно, щоб кратність частоти обертання ДВЗ не перевищувала кратності робочого діапазону обертання генератора

$$\frac{n_{G.\text{max}}}{n_{G\text{X}}} \geq \frac{n_{\text{ДВ. max}}}{n_{\text{ДВ. min}}} . \quad (3.2.18)$$

12. Перевіряють придатність обраного генератора з номінальною потужністю $P_{\text{ГН}}$ для заданого режиму за умовою

$$P_{\text{ГН}} \geq \frac{Q_G}{t_{\text{Б}}} U_{\text{Н}} . \quad (3.2.19)$$

13. Розраховують кількість енергії, що віддає АКБ у мережу живлення

$$Q_{\text{Р}} = t_{\text{Б}} \left(p_{\text{Р}} \frac{P_{\text{П.ср}}}{U_{\text{Н}}} + \frac{Q_{\text{П}} + Q_{\text{С}}}{24} \right) , \quad (3.2.20)$$

де $p_{\text{Р}}$ - ймовірність роботи генератора на обертах при яких не забезпечується заряд АКБ;

$Q_{\text{П}}$ – ємність, що витрачається на пуски ДВЗ електростартером;

Q_C – ємність, що витрачається на живлення окремих споживачів які можуть підключатися до АКБ при непрацюючому ДВЗ (прилади освітлення, аудіо-відео апаратура, система передпускового підігріву двигуна).

Значення $p_p = 1 - p_3$ розраховують, виходячи з початкової частоти (частоти холостого ходу ДВЗ) та частоти холостого ходу обраного генератора. Рекомендовані значення Q_{Π} на добу для бензинових ДВЗ складають $0,03C_{20}$, для дизельних ДВЗ – $0,1C_{20}$.

Якщо стартерний режим борта, що проектується, значно відрізняється від середньостатистичного режиму (кількість та тривалість стартів), значення Q_{Π} розраховують на підставі розрядних характеристик АКБ. Ємність Q_C обирають в залежності від характеристик та режимів роботи відповідних споживачів.

14. Розраховують кількість енергії (ємність), що витрачається на заряд АКБ за базисний час

$$Q_3 = t_B p_3 \frac{P_3}{U_H} . \quad (3.2.21)$$

15. Перевіряють зарядний баланс АКБ

$$\Delta Q = Q_3 - Q_p . \quad (3.2.22)$$

Потужність обраного генератора повинна бути такою, щоб забезпечувався невеликий позитивний добовий зарядний баланс. Якщо зарядний баланс виходить негативним, необхідно вибрати генератор більшої потужності або збільшити діаметр шківу приводу генератора i_G дотримуючись умови $n_{G.\max} > n_{ДВ.\max} i_G$.