

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Підвищення тягових властивостей двоосьових типів електровозів
шляхом удосконалення структури їх електромеханічної системи»

КНУ.МР.141.25.665-07

Виконав студент II курсу , групи ЕПА-24м /Олександр КОГАН/

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Нормоконтролер:

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____/Юрій ОСАДЧУК/

Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

КОГАН Олександр Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Підвищення тягових властивостей двоосьових типів електровозів
шляхом удосконалення структури їх електромеханічної системи

1. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є підвищення тягових властивостей двоосьових типів електровозів. Завданням є удосконалення структури електромеханічної системи двоосьових типів електровозів.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Режими роботи й удосконалена структура двоосьових типів електровозів; II. Встановлення взаємозв'язку електромеханічних характеристик основного і додаткового електроприводу удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів; III. Дослідження області раціональних значень налаштовуваних параметрів удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Функціональна схема удосконаленого електроприводу; II. Структурна схема удосконаленого електроприводу; III. Алгоритм роботи блоку узгодження; IV. Робота в зоні надлишкового буксування.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Сінчук О.М.		
II	Сінчук О.М.		
III	Сінчук О.М.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Структурна схема удосконаленого електроприводу	10.09.25
2	Алгоритм роботи удосконаленого електроприводу	17.09.25
3	Визначення параметрів електромеханічних характеристик	19.10.25
4	Алгоритм розрахунку параметрів електромеханічних характеристик	30.11.25
5	Визначення ступені впливу умов експлуатації	04.12.25
6	Розрахунок параметрів налаштування удосконаленої структури електроприводу	07.12.25

Дата видання завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

_____ Коган О.В.
(ПБ)

Керівник роботи _____
(підпис)

_____ Сінчук О.М.
(ПБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Підвищення тягових властивостей двоосьових типів електровозів шляхом удосконалення структури їх електромеханічної системи», КНУ.РМ.141.25.665-07

Мета дослідження – підвищення тягових властивостей двоосьових типів електровозів шляхом удосконалення структури їх електромеханічної системи.

Об'єкт дослідження – структура електромеханічної системи двоосьових типів електровозів.

Предмет дослідження – тягові властивості електромеханічної системи двоосьових типів електровозів.

Була розглянута система приводу рудничного електровозу на основі поєднання традиційного основного і додаткового приводу від ЛД (система комбінованого приводу рудничного електровозу)

Було визначено що подібна система включає в себе три підсистеми:

- 1) основний привід, що реалізує силу тяги за рахунок зчеплення коліс електровозу з рейками;
- 2) додатковий привод від ЛД, що реалізує силу тяги за рахунок електромагнітної взаємодії індуктора і вторинного елемента;
- 3) система узгодження, здійснююча узгодження режимів роботи основного і додаткового приводу.

Також було зазначено що для встановлення співвідношення статичних сил тяги основного та додаткового приводів для кожної з ділянок діаграми руху потягу визначається за методикою приведеної у другому розділі цієї роботи та потребує наявності блоку узгодження.

Завданням функціонування блоку узгодження є стабілізація співвідношення сил тяги основного і додаткового приводів.

Забезпечення необхідного співвідношення забезпечується зміною сили тяги додаткового приводу функції навантаження головного.

Для обмеження сили тяги додаткового приводу величиною, допустимою за умовою його нагріву, необхідно впровадити додатковий затриманий зворотній зв'язок по середньому струму лінійного двигуна.

Для врахування зміни швидкості проковзування коліс електровозу, а також для врахування можливих відхилень маси потягу від розрахункової величини (в наслідок величини завантаження вагонеток) доцільно ввести додаткові корегувальні зворотні зв'язки: зв'язки по швидкості та струму основного приводу.

При наявності датчиків буксування встановлюється і динамічно корегується значення струму включення/вимкнення ЛД, при їх відсутності – струм налаштовується у відповідності з розрахунковим значенням коефіцієнту зчеплення.

Умови включення в роботу коригувальних зворотних зв'язків мають реалізовуватись логічними елементами схеми і відповідати алгоритму роботи системи.

Реалізація раціональних режимів роботи можлива при дотриманні математичних залежностей між тяговими зусиллями вказаних приводів, забезпеченні раціонального співвідношення між їх параметрами за рахунок регулювання параметрів регулювання параметрів підпорядкованого приводу.

Для визначення ступені впливу умов експлуатації на значення параметрів налаштування ЛД було зроблено розрахунок значень для тих самих умов, що і в розділі 2, з урахуванням зміни величини коефіцієнта зчеплення і опору руху.

Як видно з графіків приведених витрат, залежності, отримані за допомогою числових методів, мають явно виражений мінімум, що відповідають аналітичній приведеній інформації.

ДВООСЬОВІ ТИПИ ЕЛЕКТРОВОЗІВ, СТРУКТУРА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ, УДОСКОНАЛЕННЯ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ, ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. Режими роботи й удосконалена структура двоосьових типів електровозів	10
1.1. Структурна схема удосконаленого електроприводу двоосьових типів електровозів	10
1.2. Алгоритм роботи удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів	15
РОЗДІЛ 2. Встановлення взаємозв'язку електромеханічних характеристик основного і додаткового електроприводу удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів	19
2.1. Визначення параметрів електромеханічних характеристик основного і додаткового електроприводу удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів	19
2.2. Алгоритм розрахунку параметрів електромеханічних характеристик основного і додаткового електроприводу удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів	24
РОЗДІЛ 3. Дослідження області раціональних значень налаштовуваних параметрів удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів	26
3.1. Визначення ступені впливу умов експлуатації на значення параметрів налаштування удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів	26
3.2. Розрахунок параметрів налаштування удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів	29
ВИСНОВКИ.....	32

ДОДАТКИ.....	35
--------------	----

ВСТУП

Концепція побудови комбінованого приводу рудничного електровозу, у відповідності з якою основним є існуючий двигун.

Це обумовлено його кращими енергетичними показниками у порівнянні з додатковим тяговим лінійним двигуном.

Під статичним режимом роботи мається на увазі режим роботи комбінованого приводу у встановленому режимі, при відсутності перехідних процесів і при постійних значеннях збуджуючих впливів на систему.

РОЗДІЛ 1. Режими роботи й удосконалена структура двоосьових типів електровозів

1.1. Структурна схема удосконаленого електроприводу двоосьових типів електровозів

Система приводу рудничного електровозу на основі поєднання традиційного основного і додаткового приводу від ЛД (система комбінованого приводу рудничного електровозу) включає в себе три підсистеми:

- 4) основний привід, що реалізує силу тяги за рахунок зчеплення коліс електровозу з рейками;
- 5) додатковий привод від ЛД, що реалізує силу тяги за рахунок електромагнітної взаємодії індуктора і вторинного елемента;
- 6) система узгодження, здійснююча узгодження режимів роботи основного і додаткового приводу.

Співвідношення статичних сил тяги основного та додаткового приводів для кожної з ділянок діаграми руху потягу визначається за методикою приведеної у другому розділі цієї роботи.

Завданням функціонування блоку узгодження є стабілізація співвідношення сил тяги основного і додаткового приводів.

Забезпечення необхідного співвідношення забезпечується зміною сили тяги додаткового приводу функції навантаження головного.

Для обмеження сили тяги додаткового приводу величиною, допустимою за умовою його нагріву, впроваджується додатковий затриманий зворотній зв'язок по середньому струму лінійного двигуна.

Для врахування зміни швидкості проковзування коліс електровозу, а також для врахування можливих відхилень маси потягу від розрахункової величини (в наслідок величини завантаження вагонеток) доцільно ввести

додаткові корегувальні зворотні зв'язки: зв'язки по швидкості та струму основного приводу.

С врахуванням вищесказаного, функціональна схема комбінованого приводу в статичному режимі роботи має вид, що представлений на рис. 1.

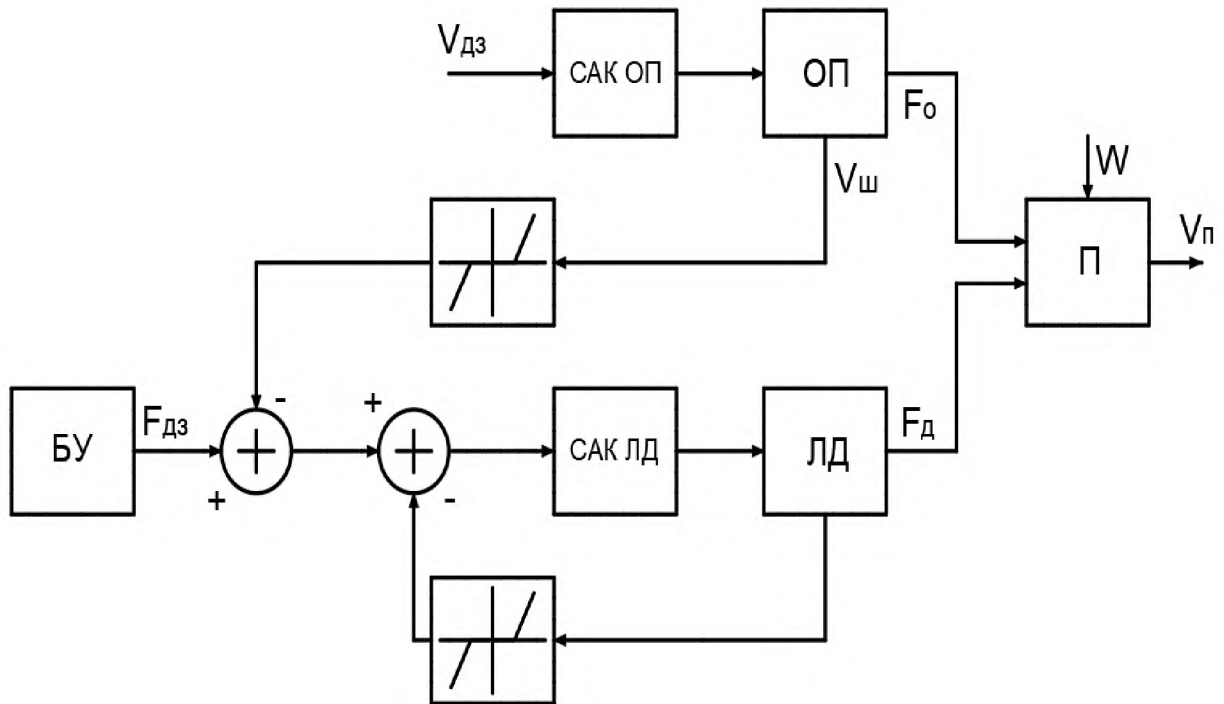


Рис. 1. Функціональна схема автоматизованого комбінованого приводу рудничного електровозу в статичному режимі

У схемі: БУ – блок узгодження; САК ЛД – система автоматичного керування лінійним двигуном; САК ОП – система керування основним приводом.

Величина сигналу керування на кожному з ділянок коїї формується у відповідності з виразом:

$$u_{fi}(t) = u_{fi\text{пр}} + k_1 \min\{[V_{\text{ск}}^{\text{кр}} - V_{\text{ск1}}(t)][V_{\text{ск}}^{\text{кр}} - V_{\text{ск2}}(t)]\} + \\ + k_2 \min\{[I_{\text{осн.еф}}^{\text{доп}} - I_{\text{осн.еф1}}(t)][I_{\text{осн.еф}}^{\text{доп}} - I_{\text{осн.еф2}}(t)]\}, \quad (1)$$

де $u_{fi}(t)$ – значення сигналу керування ЛД на i -й ділянці, функція часу руху на ділянці;

$u_{fi\text{пр}}$ – проектувальне значення сили тяги на i -й ділянці, (В) рівне $u_{fi\text{пр}} = \frac{1}{k_f} F_{\text{доп.i}}$;

$V_{\text{ск}}^{\text{кр}}$ – критичне значення швидкості проковзування коліс електровозу, м/с;

$V_{\text{ск1}}(t), V_{\text{ск2}}(t)$ – зміна швидкості проковзування колісних пар в часу, м/с;

$\min\{ \}$ – функція визначення мінімального сигналу;

k_1 – ваговий коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості проковзування;

$I_{\text{осн.эф}}^{\text{доп}}$ — допустиме, згідно до паспортних даних двигуна, значення ефективного струму тягового двигуна основного приводу (чи нагріву, при використанні датчика температури обмоток тягових двигунів), А;

$I_{\text{осн.эф1}}(t), I_{\text{осн.эф2}}(t)$ — зміна ефективних струмів тягових двигунів, А;

k_2 — коефіцієнт зворотного зв'язку по ефективному струму тягових двигунів основного приводу;

Сигнал керування u_{fi} на i -й ділянці визначається:

- 1) Згідно тяговому розрахунку (розділ 1) для кожної з ділянок, при цьому сигнал з'являється при спрацювання датчика наявності потягу на кожному з блоків-ділянок тягової мережі, при цьому не враховується можлива зміна опору руху на ділянках і різниці в завантаженні потяга;
- 2) $u_f = f(F_0)$, або $u_f = f'(I_{o\Sigma})$, у такому випадку керуючий сигнал виникає при досягненні сумарним струмом основного двигуна деякого заданого значення і його значення пропорційне $F_{o\Sigma}$.

Отже, налаштування струму включення ЛД повинне коректуватися в залежності від умов зчеплення, наприклад по сигналу від датчика пробуксовування ($V_{ск}$).

1.2. Алгоритм роботи удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів

Алгоритм роботи блоку узгодження вказаний на рис 2.

При наявності датчиків буксування встановлюється і динамічно корегується значення струму включення/вимкнення ЛД, при їх відсутності – струм налаштовується у відповідності з розрахунковим значенням коефіцієнту зчеплення.

При досягненні значення $I_{a,cr}$ струмом якоря будь-якого з тягових двигунів основного рушія виникає включення ЛД, при чому частота його живлення визначається в залежності від швидкості потягу (тахогенератора).

При подальшому збільшенні струму якоря сила тяги додаткового приводу збільшується до досягнення $F_{дод.мах}$, при чому швидкість його зростання вище, ніж швидкість навантаження основного приводу.

Підвищення сили тяги ЛД досягається регулюванням напруги і її частоти, величині $F_{дод.мах}$ відповідає максимальне значення частоти і амплітуди.

Частота живлення ЛД і, відповідно, його синхронна швидкість, повинні змінюватись у відповідності зі зміною швидкості руху потягу. При зниженні струму якоря відповідно зменшується і сила тяги ЛД, до 0 при $I_{a1} < I_{a,cr}$ і $I_{a2} < I_{a,cr}$.

Час роботи ЛД і період його включення можуть бути оцінені при наявності графіків швидкості потягів на відкаточному горизонті і величині опору руху на окремих ділянках колії, на основі чого можна визначити режим роботи ЛД (тривалий, короткочасний, повторний короткочасний та інші) час включення ЛД і, відповідно, розрахункову потужність останнього, а також вимоги до термостійкості ізоляції обмоток і системи охолодження.

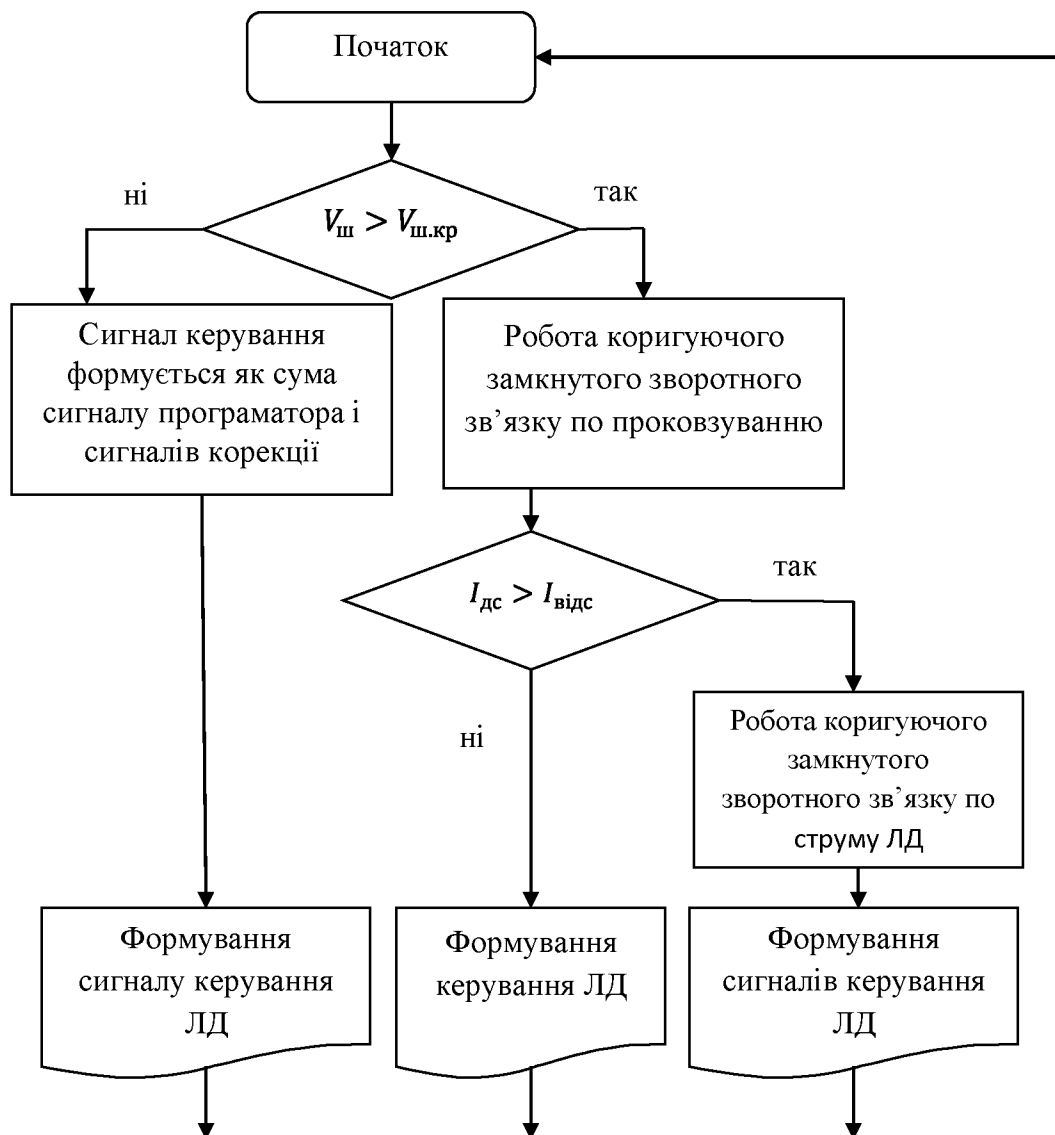


Рисунок 2. Блок-схема алгоритму роботи системи узгодження в статичному режимі роботи

У відповідності з представленим алгоритмом, функціональна схема блоку узгодження в статичному режимі приймає вигляд як на рис. 2.1.3.

На рисунку ДСК1 і ДСК2 – датчики проковзування коліс електровозу; ДШП – датчик швидкості потягу; ДС1, ДС2 – датчики струму тягових

двигунів основного і додаткового приводів відповідно, так як датчик струму відповідає миттєвим значенням, а нас цікавлять ефективні значення (функції).

Умови включення в роботу коригувальних зворотних зв'язків реалізуються логічними елементами схеми і відповідають алгоритму роботи, представленому на рис. 3.

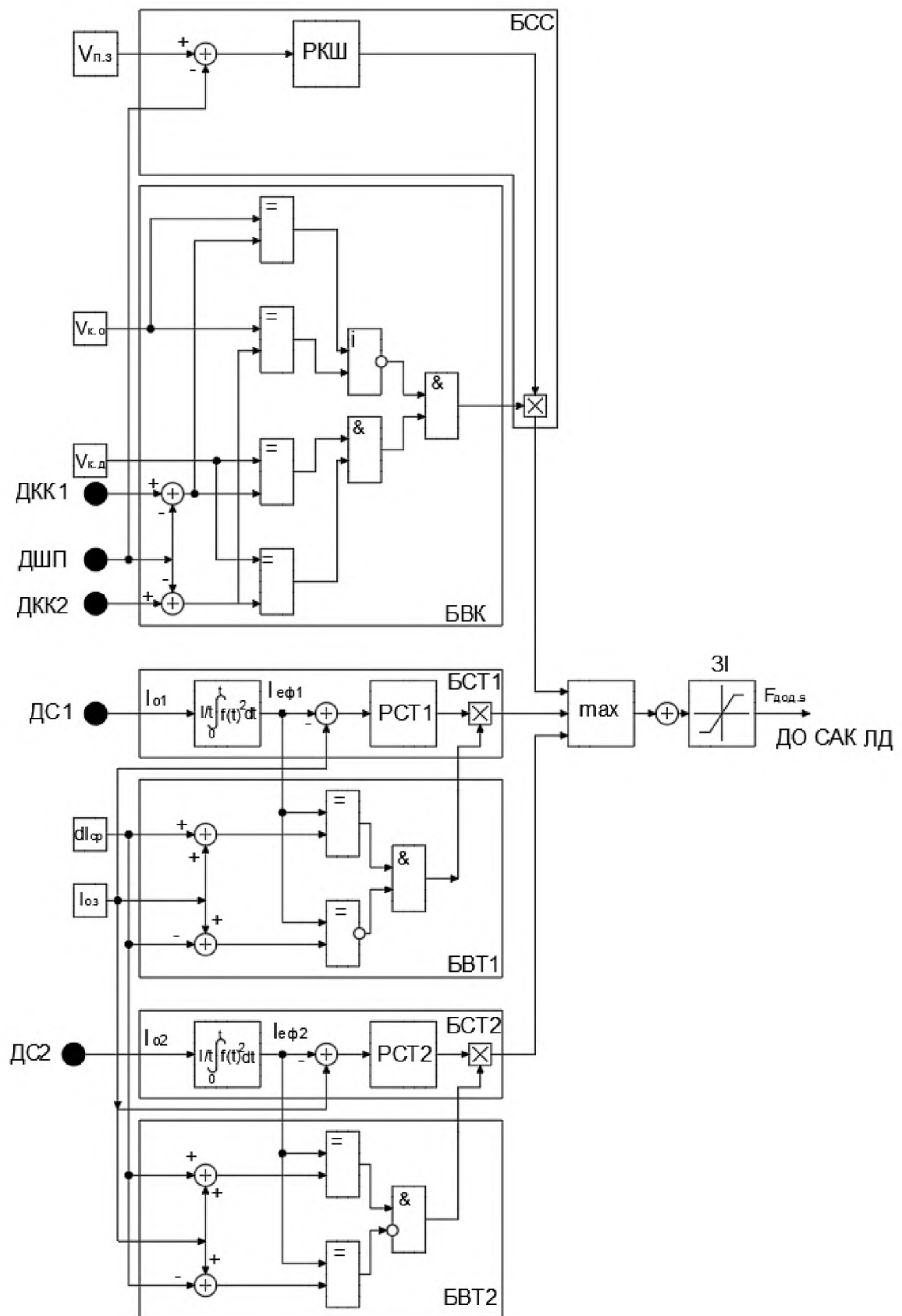


Рис. 3. Функціональна схема блоку узгодження в статичному режимі

РОЗДІЛ 2. Встановлення взаємозв'язку електромеханічних характеристик основного і додаткового електроприводу удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів

2.1. Визначення параметрів електромеханічних характеристик основного і додаткового електроприводу удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів

Так як основний і додатковий тягові двигуни мають різні механічні характеристики, то їх спільне використання можливе тільки при узгодженні режимів роботи основного і додаткового приводів.

Реалізація раціональних режимів роботи можлива при дотриманні математичних залежностей між тяговими зусиллями вказаних приводів, забезпеченні раціонального співвідношення між їх параметрами за рахунок регулювання параметрів регулювання параметрів підпорядкованого приводу.

Сукупність приведених умов складає основу визначення статичних параметрів комбінованого приводу рудничного електровозу.

Їх визначення можливе на основі аналізу електромеханічних і тягових характеристик.

Електромеханічні представляють собою залежності швидкості потягу від струму основного і підпорядкованого приводів, тягові – сил тяги від струмів.

Їх використання в інженерній практиці необхідне при виконанні тягових розрахунків рудничного електровозного транспорту, що враховують умови рушання потягу з місця, розгону його до заданої швидкості і нагріву тягових двигунів.

Рівняння руху для комбінованого приводу отримується з рівняння руху потягу, з врахуванням наявності додаткової сили тяги і має наступний вид:

$$F_{\text{осн}} + F_{\text{дод}} = m_{\text{пр}} \cdot \frac{dV_{\text{п}}}{dt} + \Sigma W, \quad (1)$$

де $F_{\text{осн}}$, $F_{\text{дод}}$ — сила тяги основного і додаткового рушіїв відповідно, Н (також вживаються як $F_{\text{о}}$, $F_{\text{д}}$);

$V_{\text{п}}$ — швидкість потягу, м/с;

$m_{\text{пр}}$ — приведена маса потягу, кг;

ΣW — опір руху потягу, Н.

В статичному режимі швидкість потягу незмінна, відтак рівняння статичної рівноваги сил прикладених до потягу має вид:

$$F_{\text{к}} = F_{\text{осн}} + F_{\text{дод}} = \Sigma W$$

Сумарний опір руху, за умови збільшення маси потягу на ΔQ_p у порівнянні з традиційним приводом електровозів з тою ж зчіпною масою, визначається за формулою:

$$\Sigma W = g(P + Q + \Delta Q_p)(w_0 + w_k \pm i), \quad (3)$$

де P – маса електровозу, т;

Q – маса складу, т;

ΔQ_p – раціональне збільшення маси потягу, методика визначення якого приведена;

w_0 – основний питомий опір руху, Н/кН; w_k – питомий опір кривих, Н/кН;

i – ухил, ‰.

Так як вказані вище приводи мають загальне навантаження і їх швидкості рівні одне одному і дорівнюють швидкості потягу $V_0 = V_d = V_n$, то для їх стійкої роботи рушіїв необхідно, щоб жорсткість їх механічних характеристик була однаковою, не залежно від величини навантаження.

В такому разі

$$\beta_o = \beta_d = \beta_k = \text{const}, \quad (4)$$

де $\beta_o, \beta_d, \beta_k$ – відповідно, жорсткість механічних характеристик основного, додаткового і загального комбінованого приводів.

Або

$$\frac{\Delta F_o}{\Delta V_o} = \frac{\Delta F_d}{\Delta V_d} = \beta_k, \quad (5)$$

де $\Delta F_o, \Delta F_d$ – підвищення сили тяги основного і додаткового приводів, Н;

$\Delta V_o, \Delta V_d$ – відповідні підвищення швидкості.

Беручи до уваги, що швидкості обох рушіїв рівні швидкості потягу, з виразу (5) отримуємо:

$$\beta_k = \frac{\Delta F_d(V_n)}{\Delta F_o(V_n)} = \text{const}. \quad (6)$$

Умова (6) є умовою для стійкої спільної роботи основного і додаткового приводів, так як при його порушенні співвідношення навантажень рушіїв змінюється при будь-яких випадкових коливаннях величини швидкості потягу.

Показано, що оптимальне, з точки зору техніко-економічних показників, співвідношення між силами тяги основного і додаткового приводу в режимі пуску складає від 0,25 до 0,4 в залежності від параметрів основного приводу і технологічних параметрів електровозного транспорту.

2.2. Алгоритм розрахунку параметрів електромеханічних характеристик основного і додаткового електроприводу удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів

На рудничному електровозному транспорті в теперішній час приймають тягові двигуни постійного струму з незалежним і змішаним збудженням.

Ефективність використання останніх на рудничному електровозному транспорті була раніше відмічена.

Електромеханічна $V = f(I)$ і тягова $F = f(I)$ характеристики визначаються рівняннями:

$$V_o = \frac{U_a - I_a \cdot R_a}{k'_1 \cdot \arctg \left(M' \left(I_a(1 - \gamma) + \frac{U'}{U_H} \cdot \gamma \cdot I_{ac} \right) \right)}, \quad (7)$$

Тоді

$$F_o = k'_2 \cdot I_a \cdot N_d \cdot \arctg \left(M' \left((1 - \gamma) + \frac{U'}{U_H} \cdot \gamma \cdot I_{ac} \right) \right), \quad (8)$$

де U_a, I_a, R_a — напруга, струм і еквівалентний опір ланцюга обмотки якоря тягових двигунів, В, А, Ом відповідно;

k'_1, k'_2 — електрична, В·с/М·Вб і електромеханічна постійні основного приводу електровозу, Н/А·рад;

M' – постійна магнітного ланцюга тягового двигуна, A^{-1} ;

γ – коефіцієнт компаундування тягового двигуна, В;

I_{ac} – часовий струм якірного ланцюга тягового двигуна, А.

РОЗДІЛ 3. Дослідження області раціональних значень налаштовуваних параметрів удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів

3.1. Визначення ступені впливу умов експлуатації на значення параметрів налаштування удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів

Для визначення ступені впливу умов експлуатації на значення параметрів налаштування ЛД зробимо розрахунок їх значень для тих самих умов, що і в розділі 2, з урахуванням зміни величини коефіцієнта зчеплення і опору руху.

Коефіцієнт зчеплення для різних умов експлуатації є стохастичною величиною, значення щільності ймовірності від зміни якої підкоряється нормальному закону розподілення з наступними параметрами:

Таблиця 1. Коефіцієнти зчеплення для різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Середньозважений коефіцієнт зчеплення	Середньоквадратичне відхилення
Рейки сухі, з підсипанням піску	0,24	0,0197
Рейки мокрі, покриті залізорудним пилом	0,18	0,0174
Рейки, покриті рідким брудом з глиняними домішками	0,11	0,0148

При цьому зміна коефіцієнту зчеплення в залежності від умов роботи і типу відкаточного горизонту характеризується наступними параметрами:

Таблиця 2. Зміна коефіцієнту зчеплення в залежності від умов роботи
і типу відкаточного горизонту

0,98	Рейки сухі, з підсипанням піску	0,24	0,0197	0,0591
	Рейки мокрі, покриті залізорудним пилом	0,18	0,0174	0,0522
	Рейки, покриті рідким брудом з глиняними домішками	0,11	0,0148	0,0444
0,95	Рейки сухі, з підсипанням піску	0,24	0,0197	0,0394
	Рейки мокрі, покриті залізорудним пилом	0,18	0,0174	0,0348
	Рейки, покриті рідким брудом з глиняними домішками	0,11	0,0148	0,0296
0,67	Рейки сухі, з підсипанням піску	0,24	0,0197	0,0197
	Рейки мокрі, покриті залізорудним пилом	0,18	0,0174	0,0174
	Рейки, покриті рідким брудом з глиняними домішками	0,11	0,0148	0,0148

3.2. Розрахунок параметрів налаштування удосконаленої структури електроприводу двоосьових типів електровозів

Розраховуючи розрахунок згідно з приведеною методикою з врахуванням наявних характеристик розподілення можливих значень коефіцієнту зчеплення коліс електровозу з рейками, в результаті розрахунку з використанням комп'ютерних технологій (таких як MATLAB та Mathcad) отримуємо наступні залежності економічної ефективності використання додаткового приводу в залежності від значень налаштованих параметрів блоку узгодження рис. 4 – 5.

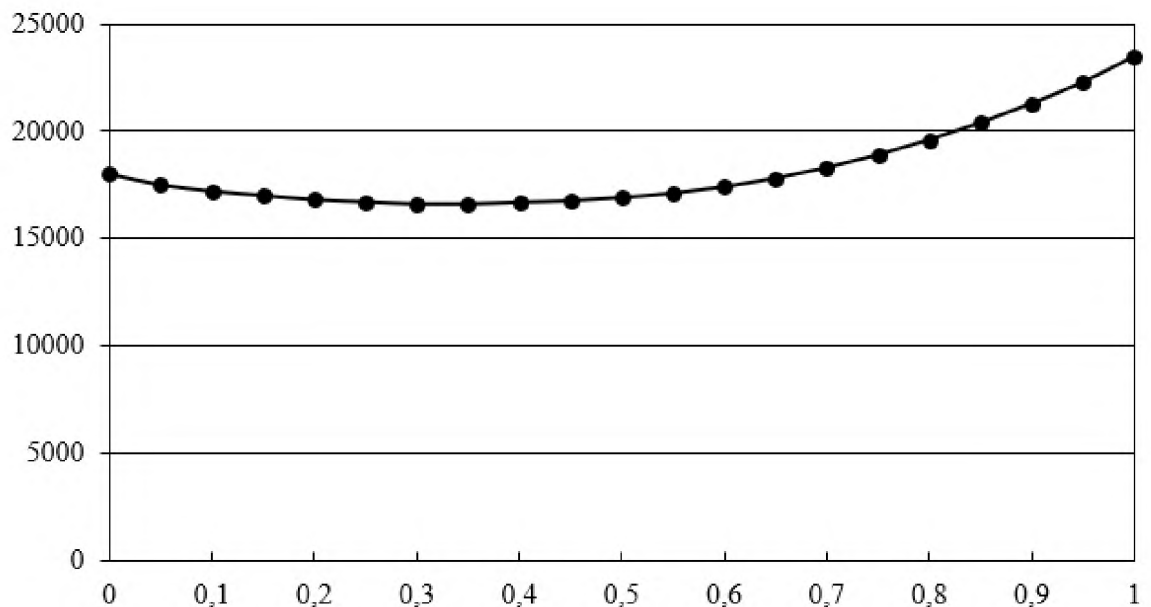


Рисунок 4. Залежність приведених витрат від значень коефіцієнту k_1

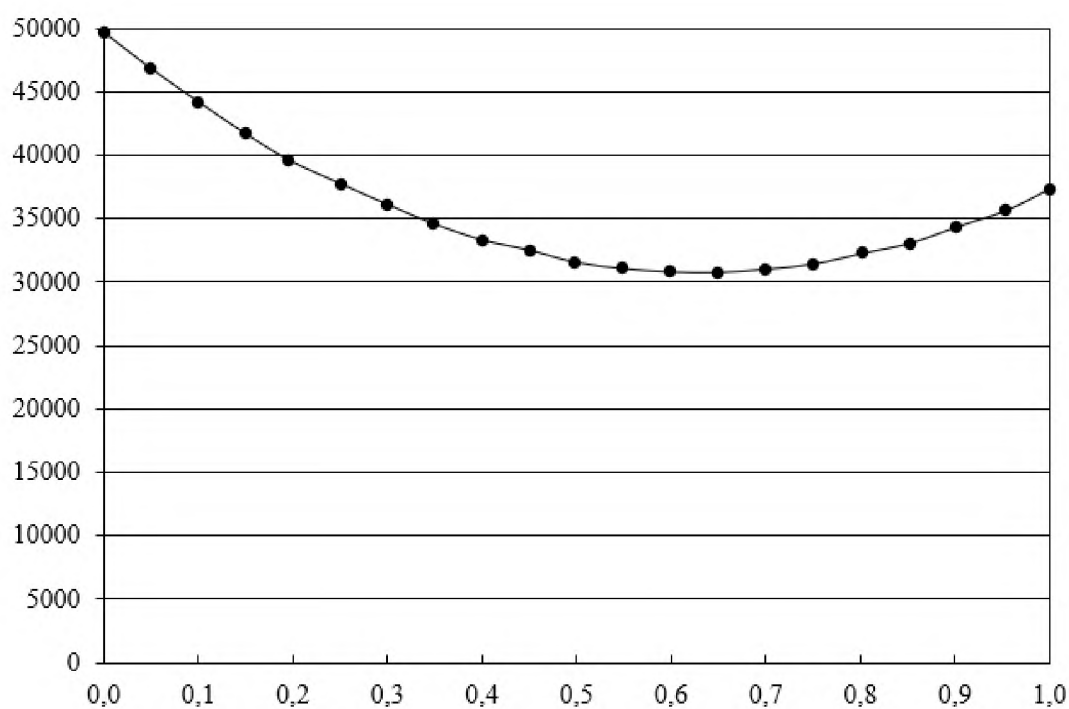


Рисунок 5. Залежність приведених витрат від значень коефіцієнту k_2

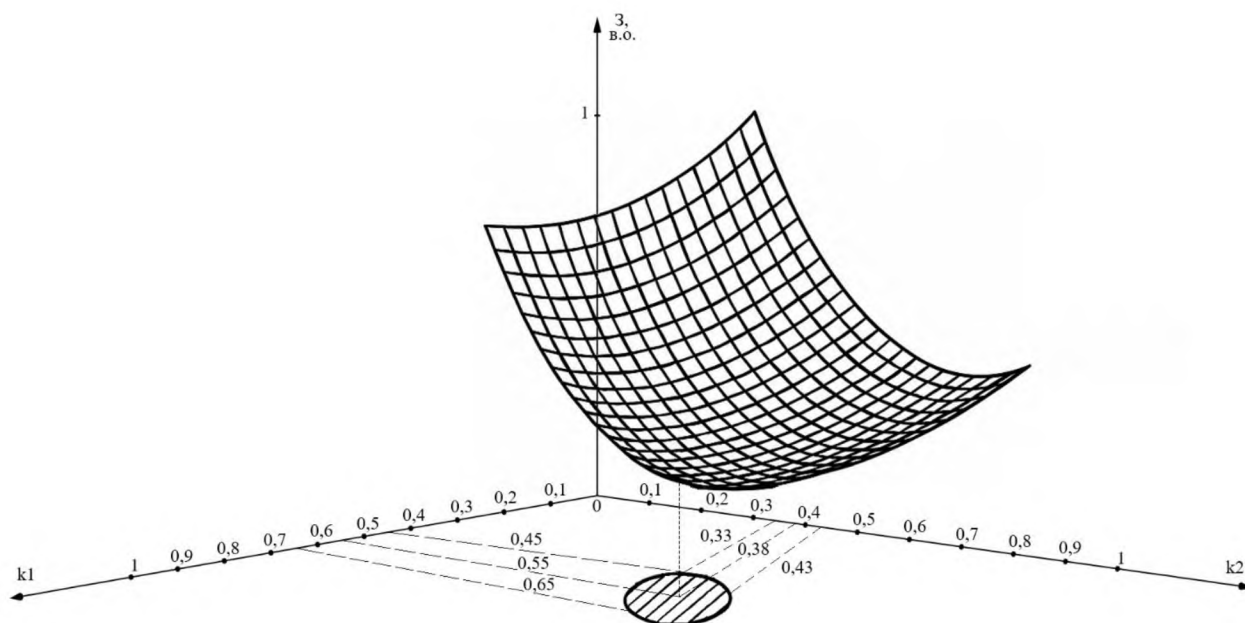


Рисунок 6. Залежність приведених витрат від значень коефіцієнту k_2

Як видно з графіків, що приведені на рис. 4 – 6, залежності, отримані за допомогою числових методів, мають явно виражений мінімум, що відповідають аналітичній приведеній інформації.

Розрахункові значення оптимальних значень налаштовуваних параметрів k_1 і k_2 , що показують собою коефіцієнти передачі затриманих зворотних зв'язків, відповідно, дорівнюють 0,335 і 0,642.

Отримані значення відповідають усередненим значенням параметрів і можуть корегуватися в залежності від умов конкретного гірничого підприємства, приведена методика розрахунку параметрів.

ВИСНОВКИ

Мета дослідження – підвищення тягових властивостей двоосьових типів електровозів шляхом удосконалення структури їх електромеханічної системи.

Об'єкт дослідження – структура електромеханічної системи двоосьових типів електровозів.

Предмет дослідження – тягові властивості електромеханічної системи двоосьових типів електровозів.

Була розглянута система приводу рудничного електровозу на основі поєднання традиційного основного і додаткового приводу від ЛД (система комбінованого приводу рудничного електровозу)

Було визначено що подібна система включає в себе три підсистеми:

- 1) основний привід, що реалізує силу тяги за рахунок зчеплення коліс електровозу з рейками;
- 2) додатковий привод від ЛД, що реалізує силу тяги за рахунок електромагнітної взаємодії індуктора і вторинного елементу;
- 3) система узгодження, здійснююча узгодження режимів роботи основного і додаткового приводу.

Також було зазначено що для встановлення співвідношення статичних сил тяги основного та додаткового приводів для кожної з ділянок діаграми руху потягу визначається за методикою приведеної у другому розділі цієї роботи та потребує наявності блоку узгодження.

Завданням функціонування блоку узгодження є стабілізація співвідношення сил тяги основного і додаткового приводів.

Забезпечення необхідного співвідношення забезпечується зміною сили тяги додаткового приводу функції навантаження головного.

Для обмеження сили тяги додаткового приводу величиною, допустимою за умовою його нагріву, необхідно впровадити додатковий затриманий зворотній зв'язок по середньому струму лінійного двигуна.

Для врахування зміни швидкості проковзування коліс електровозу, а також для врахування можливих відхилень маси потягу від розрахункової величини (в наслідок величини завантаження вагонеток) доцільно ввести додаткові корегувальні зворотні зв'язки: зв'язки по швидкості та струму основного приводу.

При наявності датчиків буксування встановлюється і динамічно корегується значення струму включення/вимкнення ЛД, при їх відсутності – струм налаштовується у відповідності з розрахунковим значенням коефіцієнту зчеплення.

Умови включення в роботу коригувальних зворотних зв'язків мають реалізовуватись логічними елементами схеми і відповідати алгоритму роботи системи.

Реалізація раціональних режимів роботи можлива при дотриманні математичних залежностей між тяговими зусиллями вказаних приводів, забезпеченні раціонального співвідношення між їх параметрами за рахунок регулювання параметрів регулювання параметрів підпорядкованого приводу.

Для визначення ступені впливу умов експлуатації на значення параметрів налаштування ЛД було зроблено розрахунок значень для тих самих умов, що і в розділі 2, з урахуванням зміни величини коефіцієнта зчеплення і опору руху.

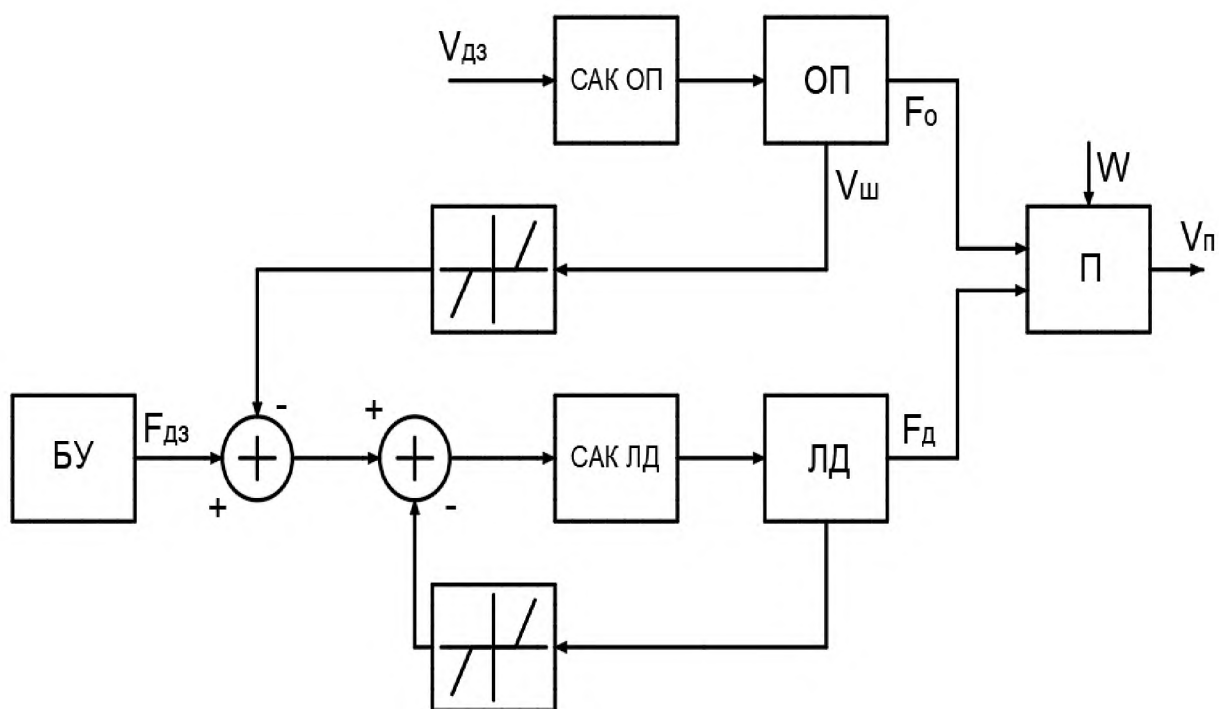
Як видно з графіків приведених витрат, залежності, отримані за допомогою числових методів, мають явно виражений мінімум, що відповідають аналітичній приведеній інформації.

Розрахункові значення оптимальних значень налаштовуваних параметрів k_1 і k_2 , що показують собою коефіцієнти передачі затриманих зворотних зв'язків, відповідно, дорівнюють 0,335 і 0,642.

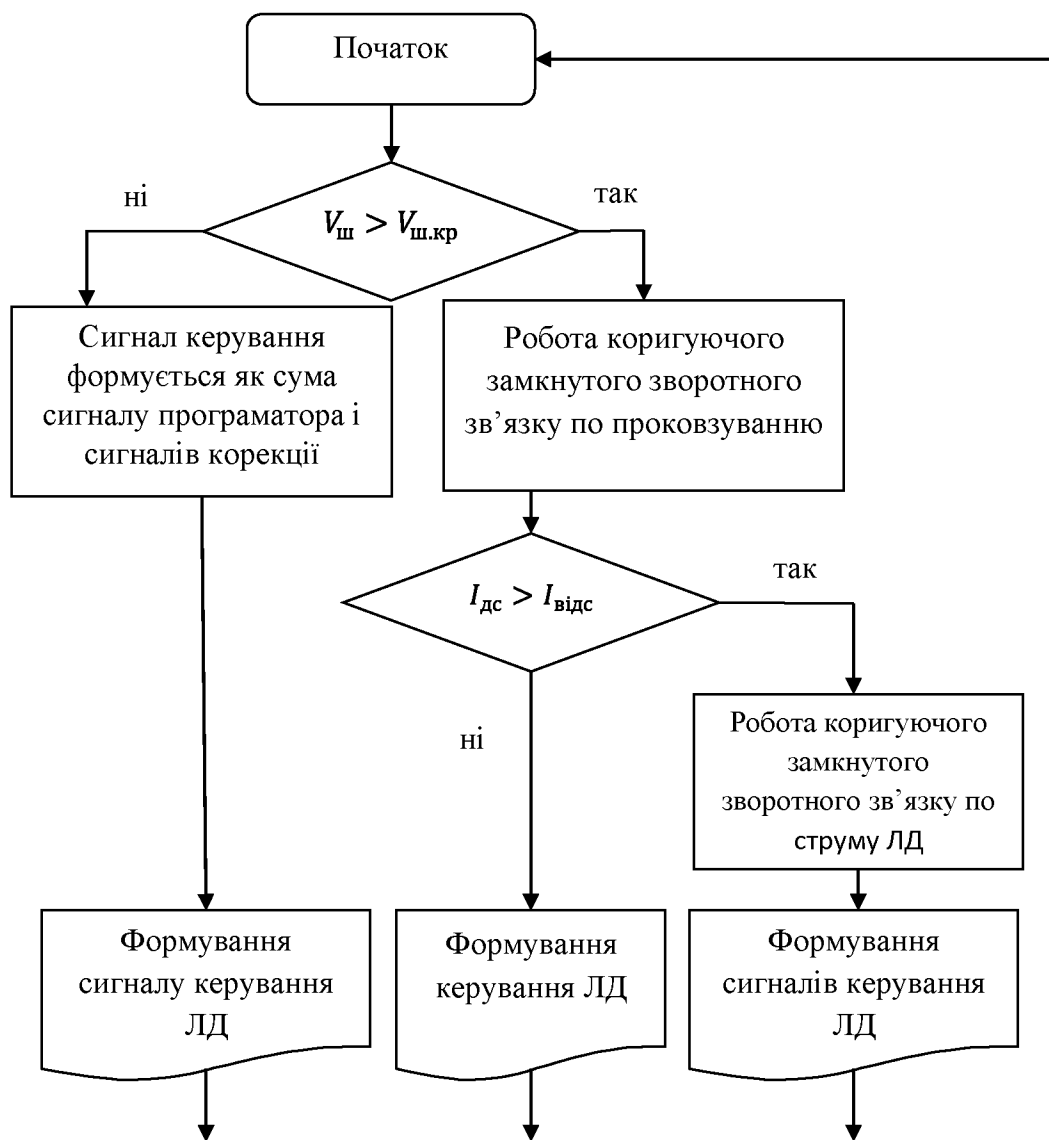
Отримані значення відповідають усередненим значенням параметрів і можуть корегуватися в залежності від умов конкретного гірничого підприємства, приведена методика розрахунку параметрів.

ДОДАТКИ

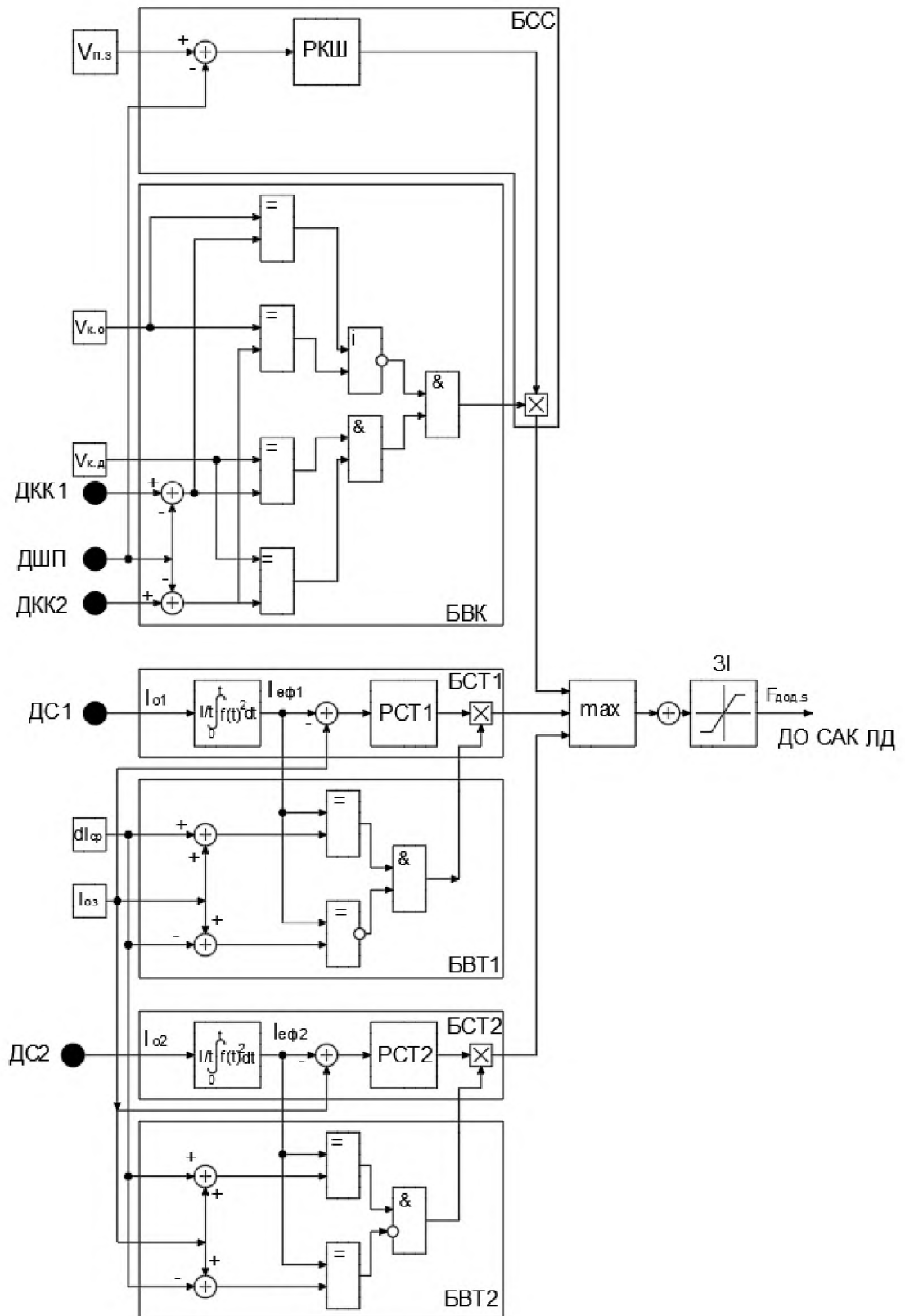
Функціональна схема автоматизованого комбінованого приводу
рудничного електровозу в статичному режимі



Блок-схема алгоритму роботи системи узгодження в статичному режимі роботи



Функціональна схема блоку узгодження в статичному режимі



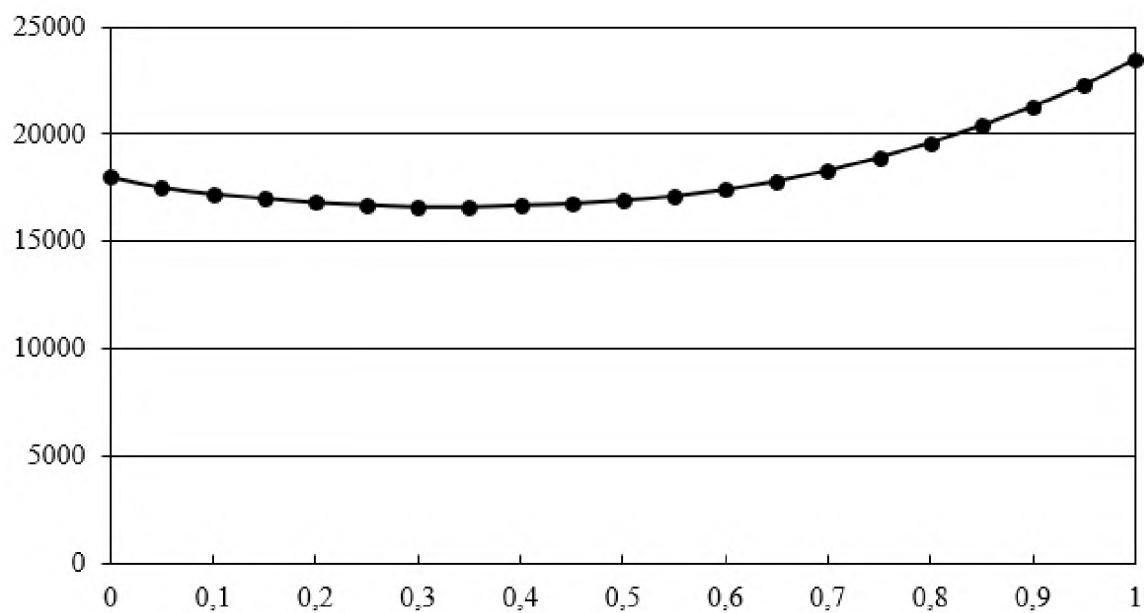
Коефіцієнти зчеплення для різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Середньозважений коефіцієнт зчеплення	Середньоквадратичне відхилення
Рейки сухі, з підсипанням піску	0,24	0,0197
Рейки мокрі, покриті залізорудним пилом	0,18	0,0174
Рейки, покриті рідким брудом з глиняними домішками	0,11	0,0148

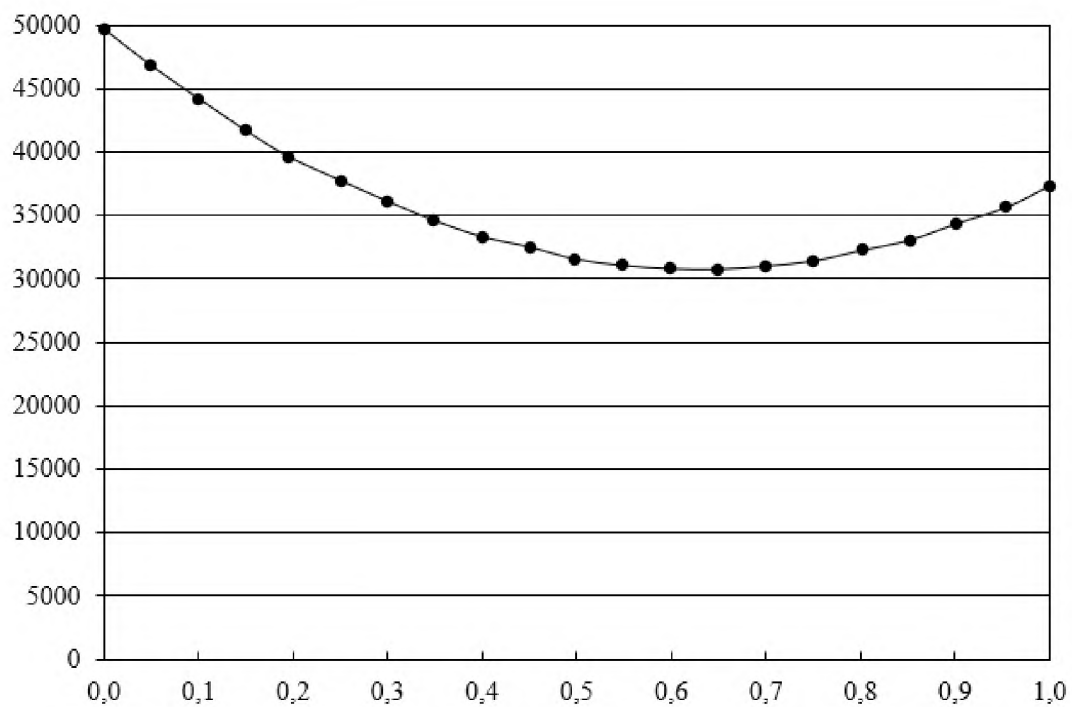
Зміна коефіцієнту зчеплення в залежності від умов роботи і типу
відкаточного горизонту

0,98	Рейки сухі, з підсипанням піску	0,24	0,0197	0,0591
	Рейки мокрі, покриті залізорудним пилом	0,18	0,0174	0,0522
	Рейки, покриті рідким брудом з глиняними домішками	0,11	0,0148	0,0444
0,95	Рейки сухі, з підсипанням піску	0,24	0,0197	0,0394
	Рейки мокрі, покриті залізорудним пилом	0,18	0,0174	0,0348
	Рейки, покриті рідким брудом з глиняними домішками	0,11	0,0148	0,0296
0,67	Рейки сухі, з підсипанням піску	0,24	0,0197	0,0197
	Рейки мокрі, покриті залізорудним пилом	0,18	0,0174	0,0174
	Рейки, покриті рідким брудом з глиняними домішками	0,11	0,0148	0,0148

Залежність приведених витрат від значень коефіцієнту k_1



Залежність приведених витрат від значень коефіцієнту k_2



Залежність приведених витрат від значень коефіцієнту k_2

