

## ПРИНЦИПИ КЕРУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ ДВОХДИЗЕЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА В ПРОЦЕСАХ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ НИМИ

*Показано, що в двоходизельній енергетичній установці тепловоза при динамічній зміні навантаження дизель-генераторів з асинхронного на синхронне та у зворотному напрямку, виникнуть небажані просадка або коливання ефективної потужності установки. Запропоновані заходи, які дозволять уникнути цих явищ.*

**Постановка проблеми.** У [1] встановлено, що зменшити експлуатаційну витрату палива тепловозів можна, якщо застосувати у складі їх енергетичних установок (ЕУ) кілька дизель-генераторів (ДГ) і при цьому забезпечити їх асинхронне (послідовне) навантаження.

У [2] показано, що в тепловозній ЕУ з двома дизелями при переведенні контролера машиніста (КМ) з певної нижчої позиції на наступну вищу позицію контролера машиніста (п.к.м.) доцільно переходити з асинхронного на синхронне навантаження ДГ. Так саме, при переведенні КМ з певної вищої п.к.м. на нижчу, доцільно переходити з синхронного на асинхронне навантаження ДГ. Таким чином, відомими роботами доведено, що в випадку застосування ЕУ з кількома дизелями при зміні певних п.к.м. доцільно здійснювати перерозподіл навантаження між ними.

**Загальна наукова проблема** полягає у необхідності обґрунтування принципів керування агрегатами ЕУ при перерозподілі навантаження між двома ДГ.

У [3] застосовано простий принцип керування розподілом навантаження між двома ДГ маневрових тепловозів (МТ), що працюють за системою двох одиниць (зчепленими): при виконанні легкої роботи навантаження сприймає один дизель, а другий в цей час є повністю зупиненим. Якщо передбачається важка маневрова робота, зчіпку тепловозів зупиняють, перший (працюючий) дизель переводять на режим тепловозного холостого ходу (ТХХ), а другий запускають і також переводять на режим ТХХ, а потім вже від режимів ТХХ обидва ДГ навантажують однаково (синхронно).

Такий принцип керування агрегатами ЕУ МТ з двома ДГ можна застосовувати у випадках, коли потреба у перерозподілі навантаження між ДГ є прогнозованою та виникає раз на кілька годин.

Відносно просто організувати виключно послідовне (асинхронне) навантаження дизелів. Тоді на малих п.к.м. все навантаження на ЕУ сприймає перший дизель, а коли його номінальної потужності стає недостатньо, дефіцит покриває другий дизель, а перший продовжує працювати на

режимі номінальної потужності. Такий спосіб керування є прийнятним, коли ДГ мають різну номінальну потужність, але він не дозволяє реалізувати всі потенційні переваги двоходизельної ЕУ з однаковими ДГ.

У випадку частих змін навантаження на ЕУ, наприклад при роботі на маневровій горці, де зміна п.к.м. відбувається через кілька хвилин або навіть секунд, принцип перерозподілу навантаження між ДГ, який передбачає зупинку тепловоза та переведення обох ДГ на режим ТХХ, є неприйнятним.

При частих змінах п.к.м. необхідно забезпечити перерозподіл навантаження між ДГ з асинхронного на синхронний та у зворотному напрямку динамічно, тобто без зупинки МТ. При цьому треба уникнути провалів, закидів або коливань при зміні ефективної потужності ЕУ. Небажаною є також затримка реакції енергетичної установки на перемикання КМ.

Колівання потужності ЕУ можуть виникнути і в установках з одним ДГ. Вони обумовлені, насамперед, динамічними явищами в електричних ланцюгах. Такі коливання відбуваються з відносно високою частотою і методи їх зменшення описані у спеціальній літературі.

У випадку застосування в МТ двох однакових ДГ є додаткові причини виникнення низькочастотних коливань потужності ЕУ. Вони обумовлені дискретною зміною збудження тягових генераторів та заданих частот обертання колінчастих валів дизелів при перемиканні КМ, а також різною тривалістю процесів накидання та скидання потужності дизеля. Цю різницю ілюструє рис. 1, де наведені графіки зміни у часі потужності тепловозного дизеля при переведенні контролера машиніста з нульової позиції на максимальну та у зворотному напрямку від часу [4].

Значення параметрів на рис. 1 наведені у відносних одиницях. Відносна потужність дизеля визначається як  $\bar{N}_e(\tau) = N_e(\tau) / N_{eH}$ , де  $N_e(\tau)$  – поточне значення потужності дизеля,  $N_{eH}$  – його номінальна потужність, а відносний час як  $\bar{\tau} = \tau / \tau_{\max}$ , де  $\tau_{\max}$  – повна тривалість перехідного

процесу при накиданні потужності. Значення  $\tau_{\max}$  для різних ДГ може відрізнятись в кілька разів і має бути визначене експериментально.

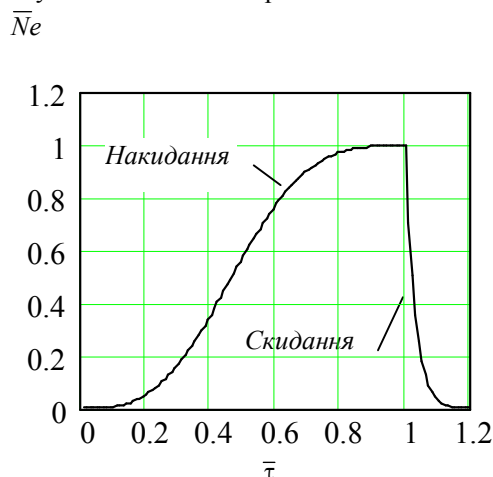


Рис. 1. Зміна у часі потужності дизеля при накиданні та скиданні навантаження

Якісно подібний характер мають характеристики перехідних процесів також у випадку, коли накидання та скидання навантаження відбувається не між крайніми п.к.м. (0 – 15 або 0 – 8), а між середніми п.к.м., наприклад між четвертою та п'ятою.

Як впливає з рис. 1, тривалість перехідного процесу при скиданні потужності приблизно у п'ять разів менша, ніж при накиданні. Тому у процесах перерозподілу навантаження між ДГ, коли один із дизелів має збільшувати потужність, а інший – зменшувати, можуть виникнути закиди або провали повної потужності ЕУ.

**Невирішеною частиною загальної наукової проблеми** є визначення характеристик перехідних процесів, що виникають при зміні потужності енергетичної установки маневрового тепловоза з двома однаковими дизель-генераторами за умов динамічного перерозподілу навантаження між ними.

**Мета роботи** – обґрунтування принципів керування дизель-генераторами, що входять до складу дводизельної енергетичної установки тепловоза (переважно маневрового, з тяговою передачею змінно-змінного струму), які дозволять мінімізувати розмах коливань потужності установки при динамічному перерозподілі навантаження між дизелями.

**Наукова гіпотеза.** Застосування у тяговій передачі накопичувача електроенергії та раціональний розподіл електроенергії між окремими споживачами, дозволить поліпшити характеристики зміни потужності установки в процесах ди-

намічного перерозподілу навантаження між дизелями.

**Викладення основного матеріалу**

Для аналізу процесів зміни потужності окремих ДГ та ЕУ в цілому при переході з асинхронного на синхронне навантаження дизелів та у зворотному напрямку треба мати аналітичні залежності виду  $\bar{N}_e = f(\bar{\tau})$  для випадків накидання та скидання навантаження. Надалі для апроксимації характеристик перехідних процесів будемо використовувати експоненціальні залежності виду:

- при накиданні навантаження

$$\bar{N}_{e\uparrow} = k \left\{ 1 - \exp \left[ -6,908 \left( \frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^{m_1} \right] \right\}, \quad (1)$$

- при скиданні

$$\bar{N}_{e\downarrow} = k \left\{ \exp \left[ -6,908 \left( \frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^{m_2} \right] \right\}, \quad (2)$$

де  $k$  – більше значення відносної потужності дизеля у перехідному процесі, а показники ступеня  $m_1$  та  $m_2$  визначають інтенсивність зміни потужності у відповідних перехідних процесах («крутизну» характеристик на рис. 1). Більш «крутим» характеристикам відповідають менші значення  $m_1$  та  $m_2$ .

Для розв'язання задач аналізу перехідних процесів, що відбуваються в ЕУ з конкретними ДГ, треба мати експериментальні або розрахункові характеристики їх перехідних процесів.

У даній роботі для пояснення запропонованих принципів керування двома ДГ при перерозподілі навантаження між ними використовувались апроксимовані характеристики перехідних процесів ДГ ПДГ1М, наведені у [4] та представлені у відносному вигляді. Було прийнято, що  $m_1 = 2,4$  та  $m_2 = 1,8$ .

Поточне значення відносної потужності обох дизелів визначимо за формулою

$$\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV} = \bar{N}_e(\bar{\tau})_1 + \bar{N}_e(\bar{\tau})_2. \quad (3)$$

Вочевидь, значення  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  можуть бути в діапазоні 0 ... 2.

Розглянемо типову ситуацію, яка виникає в процесі перерозподілу навантаження. Припустимо, що спочатку дизель ДГ1 був навантажений до своєї номінальної потужності ( $\bar{N}_{e1} = 1$ ), а дизель ДГ2 працював на режимі холостого ходу ( $\bar{N}_{e2} = 0$ ). При цьому  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV} = 1$ .

Припустимо далі, що за умов руху виникає потреба у потужності  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV} = 1,2$ . Таку

потужність доцільно реалізувати шляхом переведення ДГ на синхронне навантаження, тобто мати  $\bar{N}_{e1} = 0,6$  та  $\bar{N}_{e2} = 0,6$ . Це означає, що  $\bar{N}_{e1}$  має бути зменшена з 1 до 0,6, а  $\bar{N}_{e2}$  збільшена з 0 до 0,6.

$$\bar{N}_{eEV}, \bar{N}_{e1}, \bar{N}_{e2}$$

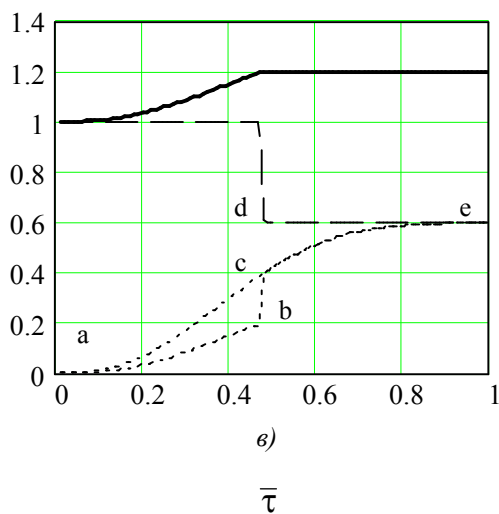
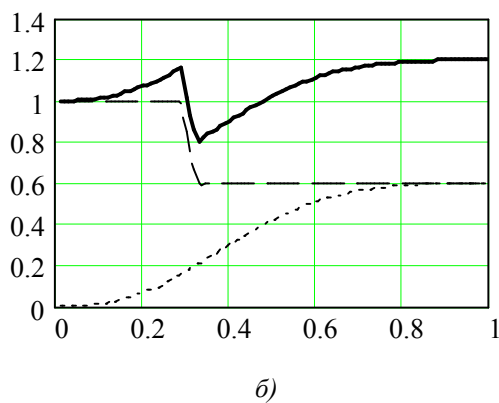
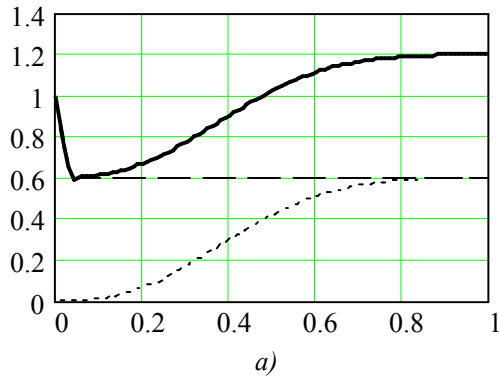


Рис. 2. Зміна у часі відносних потужностей дизелів та ЕУ в цілому при накиданні навантаження на ЕУ.

$$\text{—} \bar{N}_{eEV}; \text{---} \bar{N}_{e1}; \text{.....} \bar{N}_{e2}$$

Розглянемо тепер характер зміни потужності ЕУ в перехідних процесах перерозподілу навантаження між двома дизелями за умов, що керування ними відбувається за різними правилами. Для цього з використанням (1) (2) та (3) були виконані розрахунки зміни у відносному часі  $\bar{\tau}$  відносних потужностей дизелів та ЕУ в цілому, що були викликані перерозподілом навантаження. Результати розрахунків наведені на рис. 2.

На рис. 2,а наведені характеристики перехідних процесів, які відповідають випадку одночасного скидання потужності першого дизеля з  $\bar{N}_{e1} = 1$  до 0,6 та збільшення навантаження на другий дизель з рівня 0 до 0,6. Оскільки збільшення потужності дизеля відбувається повільніше, ніж її скидання,  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  швидко зменшується до 0,6 (на 40 % відносно початкового рівня), а потім повільно збільшується до 1,2. Таким чином, замість повільного збільшення  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  від 1 до 1,2, яке має відбуватися при переведенні КМ з нижчої позиції на наступну вищу, спочатку буде її зменшення.

Рис. 2,б відповідає випадку керування роботою ЕУ, коли при переведенні КМ на вищу позицію  $\bar{N}_{e1}$  утримується на деякий час на рівні 1, а другий дизель одразу починає збільшувати потужність. При досягненні  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  рівня 1,2 потужність  $\bar{N}_{e1}$  швидко зменшується з 1 до 0,6, а внаслідок цього  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  також зменшується до 0,8 (на 33 % відносно досягнутого рівня). Далі відбувається повільне зростання потужності ЕУ. Таким чином, переведення КМ на вищу позицію викличе низькочастотні коливання потужності ЕУ, що також є небажаним.

Рис. 2,в відповідає випадку, коли при переведенні КМ на вищу позицію  $\bar{N}_{e1}$  утримується на деякий час на рівні 1, а другий дизель одразу починає збільшувати потужність. При досягненні  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  рівня 1,2 потужність  $\bar{N}_{e1}$  швидко зменшується з 1 до 0,6, а внаслідок цього  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  також зменшується до 0,8 (на 33 % відносно досягнутого рівня). Далі відбувається повільне зростання потужності ЕУ.

Таким чином, переведення КМ на вищу позицію викличе низькочастотні коливання потужності ЕУ, що також є небажаним.

Забезпечити повільний характер зміни потужності ЕУ в процесі перерозподілу навантаження між ДГ при переведенні КМ з певної нижчої п.к.м. на наступну вищу можна, якщо в схемі

тягової передачі застосувати накопичувачі електроенергії (НЕ). Фізично НЕ має бути у вигляді батареї електрохімічних конденсаторів (іоністорів).

Доцільність застосування НЕ для створення гібридної ЕУ МТ з одним ДГ і тяговою передачею змінно-змінного струму була обґрунтована у різних роботах, наприклад у [5]. Там НЕ через перетворювач підключався до шини постійного струму, що пов'язує випрямляч з тяговими інверторами. Розглядалися варіанти з НЕ великої енергоємності, які могли відносно тривалий час (до десятків хвилин) забезпечувати енергопостачання МТ. Але батареї іоністорів великої енергоємності мають відповідно і велику вартість, що наразі обмежує їх впровадження.

У МТ з двома ДГ можна застосувати НЕ відносно малої ємності, який буде використовуватися для компенсації короточасних (протягом кількох секунд) коливань потужності ЕУ при перерозподілі навантаження між ДГ. Також можливим є використання цього НЕ у системах конденсаторного пуску дизелів.

На рис. 2,в наведені графіки, які ілюструють розвиток перехідних процесів при перерозподілі навантаження між ДГ у разі застосування в тяговій передачі НЕ.

Запропонований принцип керування роботою ЕУ передбачає, що у разі необхідності збільшення  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  від 1 до 1,2  $\bar{N}_{e1}$  деякий час залишається незмінною, на рівні 1. Другий дизель при переведенні КМ на наступну вищу позицію починає одразу набирати потужність (процес а – с на рис. 2,в). Але на відміну від попереднього варіанту керування (рис. 2,б), у загальну шину постійного струму віддається не вся потужність тягового генератора ДГ2, а лише її половина (процес а – b на рис. 2,в). Споживачем для другої частини потужності, виробленої тяговим генератором, має бути НЕ, який на початковому етапі перехідного процесу заряджається. Поділити потужність синхронного тягового генератора ДГ2 навпіл можна у випадку, якщо він має шість обмоток, об'єднаних у дві зірки, що зсунуті між собою на певний кут (за звичай на 30 ел. град.). Тоді струм від однієї зірки треба через випрямляч подавати до шини, а від іншої – через перетворювач до НЕ.

Коли значення  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV}$  досягне рівня 1,2,  $\bar{N}_{e1}$  скидається до 0,6. Оскільки  $\bar{N}_{e2}$  ще не досягла 0,6, а знаходиться на рівні  $\approx 0,4$ , дефіцит потужності у тяговій передачі має бути компенсований за рахунок енергії, накопиченої на першому етапі

перехідного процесу у НЕ, причому так, щоб забезпечити  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV} = \text{const} = 1,2$ .

У перехідному процесі, що відбувається за участю НЕ, має виконуватись рівняння енергетичного балансу

$$\eta_{HE} \cdot \int_{\tau_a}^{\tau_c} \left[ \frac{N_e(\tau)_2}{2} \right] \cdot d\tau = \int_{\tau_d}^{\tau_e} N_e(\tau)_1 \cdot d\tau - \int_{\tau_c}^{\tau_e} N_e(\tau)_2 \cdot d\tau \quad (4)$$

де  $\eta_{HE}$  – коефіцієнт повернення енергії або інакше ККД блоку, до складу якого входить власне НЕ та перетворювач, а межі інтегрування відповідають точкам на рис. 2,в.

Чисельне інтегрування складових (4) показало, що при  $\eta_{HE} = 0,9$ , а це значення  $\eta_{HE}$  є типовим для батарей іоністорів, енергії, накопиченої у НЕ на першому етапі перехідного процесу, достатньо для підтримки заданого рівні потужності ЕУ на другому етапі.

Складовим рівнянням (4) можна дати наочну інтерпретацію, якщо взяти до уваги, що в координатах  $N_e - \tau$ , а також у координатах  $\bar{N}_e - \bar{\tau}$ , площа під кривою або та, що обмежена замкненим контуром, складеним із графіків кількох процесів, пропорційна підведених (відведених) енергії. Тоді маємо, що ліва частина рівняння (4) пропорційна площі косокутного трикутника а – b – с, а права частина – площі косокутного трикутника с – d – е на рис. 2,в. Площа косокутного трикутника а – b – с також пропорційна необхідній ємності накопичувача електроенергії.

Проблеми, подібні тим, що виникають при переведенні КМ з певної нижчої п.к.м. на наступну вищу, виникають також при переведенні КМ у зворотному напрямі.

Розглянемо випадок, коли спочатку  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV} = 1,2$  і обидва дизелі були навантажені однаково:  $\bar{N}_{e1} = \bar{N}_{e2} = 0,6$ . Припустимо далі, що за умов руху МТ виникає потреба у  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EV} = 1$ . Таку потужність ЕУ доцільно реалізувати при  $\bar{N}_{e1} = 1$  та  $\bar{N}_{e2} = 0$ , тобто треба відносно потужність першого дизеля збільшити з рівня 0,6 до 1, а другого скинути з рівня 0,6 до 0.

На рис. 3,а наведені характеристики перехідних процесів у ЕУ без НЕ, які будуть при одночасній зміні навантаження обох дизелів. Можна зробити висновок, що внаслідок швидкої зміни потужності другого дизеля при її скиданні, відносне значення загальної потужності ЕУ спочатку зменшується до рівня 0,65, а потім повільно

збільшується до рівня 1. Такий глибокий «провал» потужності ЕУ негативно позначиться на тягово-динамічних властивостях МТ.

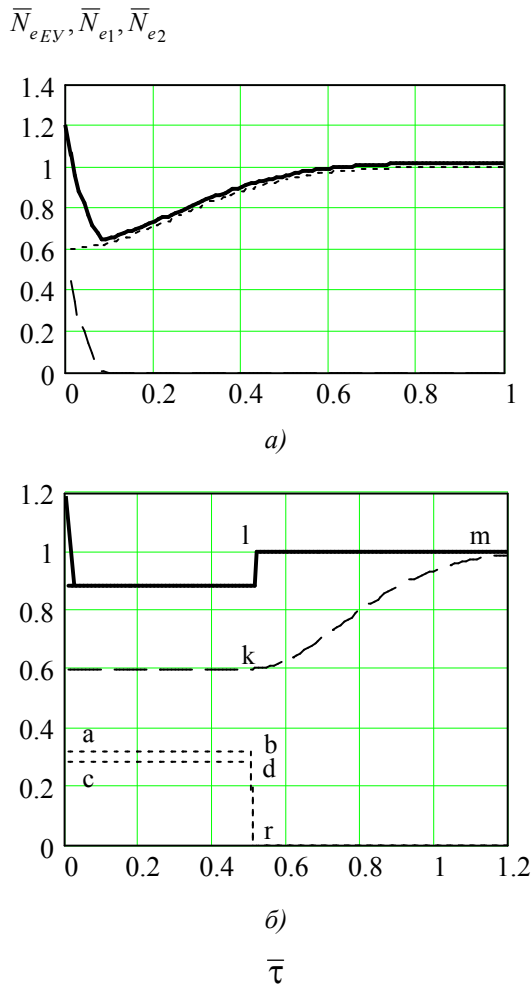


Рис. 3. Зміна у часі відносних потужностей дизелів та ЕУ в цілому при скиданні навантаження з ЕУ:

—  $\bar{N}_{EУ}$ ; — — —  $\bar{N}_{e1}$ ; .....  $\bar{N}_{e2}$

Поліпшити характеристики ЕУ при перемиканні КМ з вищої позиції на наступну нижчу і пов'язаним з цим перерозподілом навантаження між дизелями також можна шляхом застосування НЕ у тяговій передачі. У такому випадку процеси перерозподілу потужності мають здійснюватись у два етапи.

На першому етапі потужність синхронного генератора ДГ2 має бути розділена на два потоки, кожен з яких має відносну потужність 0,3. Як зазначалося вище, це можна зробити шляхом відокремлення одна від одної двох трифазних зірок, у які з'єднані шість обмоток статора.

Після відокремлення зірок одна з них продовжує віддавати потужність через випрямляч до загальної шини, а друга – через перетворювач у НЕ. Відносна потужність генератора та дизеля ДГ1 у цей час утримується на рівні 0,6.

На рис. 3,б наведені характеристики зміни у відносному часі відносної потужності ЕУ та дизелів, що до неї входять. Процеси а – б та с – d характеризують потужності, генеровані ДГ2 і спрямовані до шини та НЕ. Щоб розрізнити ці процеси, криві на рис. 3,б умовно дещо рознесені, хоча насправді потужності мають бути однакові.

При зміні схеми з'єднання обмоток тягового генератора ДГ2 загальна потужність, подана до шини, стрибком зменшується з рівня 1,2 до 0,9 (0,6 + 0,3). Ця потужність утримується деякий час, необхідний для створення запасу енергії у НЕ.

Другий етап процесу перерозподілу потужності починається з моменту, коли запас енергії у НЕ створено. Тоді  $\bar{N}_{e2}$  скидається з 0,6 до 0 (процеси b – r та d – r на рис. 3,б), а дизель ДГ1 починає збільшувати потужність від  $\bar{N}_{e1} = 0,6$  до  $\bar{N}_{e1} = 1$  (процес k – m). Для того, щоб уникнути глибоких провалів  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EУ}$ , які можуть виникнути внаслідок скидання потужності ДГ2, а також швидко вийти на  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EУ} = 1$ , різниця між потрібною потужністю ЕУ та поточною потужністю ДГ1 має покриватися за рахунок енергії, накопиченої у НЕ.

Момент  $\bar{\tau}_b$ , коли треба закінчувати перший етап перерозподілу навантаження та переходити до другого етапу, має визначатися з рівняння енергетичного балансу

$$\eta_{HE} \cdot \int_{\tau_a}^{\tau_b} \left[ \frac{N_e(\tau)_2}{2} \right] \cdot d\tau = \int_{\tau_i}^{\tau_m} N_e(\tau)_{EУ} \cdot d\tau - \int_{\tau_k}^{\tau_m} N_e(\tau)_1 \cdot d\tau. \quad (5)$$

Треба врахувати, що в формулі (5)  $\tau_b = \tau_d = \tau_i = \tau_k$  (див. рис. 3,б), а різні індекси використані заради наочного позначення конкретних процесів.

Таким чином, застосування НЕ у тяговій передачі дозволяє зменшити просадку потужності ЕУ, викликану перерозподілом навантаження між ДГ при переведенні КМ на нижчу позицію, до  $\bar{N}_e(\bar{\tau})_{EУ} = 0,9$ , хоча повністю позбавитись просадки не вдається. Це обумовлено тим, що електрична потужність тягового генератора на першому етапі перерозподілу розділяється на два однакові потоки. Якщо розділення потоку потужності здійснювати

не шляхом зміни комутації обмоток генератора, а за допомогою електронних пристроїв, які забезпечать розподіл  $\bar{N}_{e2} = 0,6$  на складові 0,4 та 0,2, то можна забезпечити вихід на задане  $\bar{N}_e(\tau)_{EV}$  без провалів потужності.

Для виконання такої оцінки прийемо, що номінальні потужності дизелів однакові ( $N_{e1,H} = N_{e2,H} = 500$  кВт), час перехідного процесу при наборі потужності по тепловозній характеристиці від 0 до 300 кВт (див. рис. 2,в) складає 6 с., при наборі потужності від 0 до 200 кВт – 3 с., а  $\eta_{HE} = 0,9$ .

Тоді мінімальна енергоємність накопичувача  $E_{HE}$  може бути визначена за формулою

$$E_{HE} = \frac{1}{\eta_{HE}} \int_0^{\tau_c} \left[ \frac{N_e(\tau)_2}{2} \right] \cdot d\tau. \quad (6)$$

Чисельне інтегрування (6) дає  $E_{HE} = 0,42$  МДж. Навіть якщо прийняти з запасом  $E_{HE} = 1$  МДж, то така енергоємність (відповідно і вартість HE) буде мінімум на порядок менша, ніж у випадку використання HE як джерела енергії для МТ на режимах ТХХ та тяги [5].

Подальші дослідження процесів перерозподілу навантаження між двома дизелями, що входять до складу енергетичної установки МТ, доцільно проводити з застосуванням характеристик конкретних агрегатів, а також обґрунтувати схемні рішення для електронного розподільвача потужності.

### Висновки

1. Відомо, що застосування в енергетичній установці тепловоза двох дизель-генераторів однакової потужності дозволяє зменшити експлуатаційні витрати палива. Також відомо, що за певних умов при зміні навантаження на енергетичну установку доцільно переходити з асинхронного навантаження дизель-генераторів на синхронне або у зворотному напрямку. Повністю реалізувати переваги установки з двома дизелями можна у випадку, коли перерозподіл загального навантаження між ними здійснювати динамічно, без зупинки тепловоза.

2. Встановлено, що без застосування додаткових заходів впливу на перехідні процеси в енергетичній установці з двома дизелями, динамічний перерозподіл навантаження між ними викличе просадки або коливання потужності. Це обумовлено дискретним характером зміни збудження тягових генераторів при перемиканні контролера машиніста, а також різною тривалістю перехідних процесів, що виникають при накиданні та скиданні навантаження на дизель-генератор.

3. Для забезпечення мінімальних провалів потужності ЕУ у перехідних процесах, що виникають при динамічному перерозподілі навантаження між дизелями, запропоновано включити до тягової передачі накопичувач електроенергії – батарею іоністорів, а перерозподіл проводити в два етапи. На першому етапі затримується зміна потужності першого дизель-генератора, накопичувач заряджається за рахунок відбору половини потужності, знятої з другого генератора, а інша половина подається до шини. На другому етапі відбувається, у потрібному напрямку, зміна навантаження обох дизель-генераторів, а дефіцит потужності, що віддають тягові генератори до загальної шини постійного струму, компенсується за рахунок відбирання енергії з накопичувача.

4. Встановлено, що мінімально-необхідна енергоємність батареї іоністорів для енергетичної установки маневрового тепловоза з двома дизелями, що мають номінальну потужність 500 кВт кожний, а також тягову передачу змінно-змінного струму, знаходиться в межах 0,42 ... 1 МДж. Це, як мінімум, на порядок менше, ніж потрібно для забезпечення енергопостачання тепловоза на стаціонарних експлуатаційних режимах, оскільки обмін енергією між накопичувачем і шиною триває кілька секунд при перемиканні контролера машиніста між двома певними позиціями.

### Список літератури:

1. Хомич А.З. *Топливная экономичность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей* [Текст]. – 2-е изд. / А.З. Хомич. – М.: Транспорт, 1987. – 271 с.
2. Сергієнко М.І. Вибір раціональної послідовності навантаження дизелів енергетичної установки тепловоза з двома дизель-генераторами [Текст]. / М.І. Сергієнко, О.М. Гончарів, Д.О. Гордієнко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Далія. – 2012. №5(176). – Ч.1 – С. 167 – 172.
3. Фалендиш А. П. Вибір шляхів оптимізації роботи маневрових тепловозів, що працюють по системі двох одиниць [Текст]. / А. П. Фалендиш, В. О. Гатченко, А. Л. Сумцов // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Далія. – 2012. – № 5 (176). – С. 91–96.
4. Крушедольський О.Г. *Моделювання робочих процесів транспортних дизелів на експлуатаційних режимах*: [Текст]. Навч. посібник / О.Г. Крушедольський. Харків: УкрДАЗТ, 2007. – 218 с.
5. Варакин А.И. *Маневровый и универсальный локомотив с гибридной силовой установкой и накопителем энергии на базе электрохимических конденсаторов* [Текст]. / А.И. Варакин, И.Н. Варакин, В.В. Менухов // Наука и техника транспорта, 2007. № 12. С. 34 – 40. <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=9516479>.

### Bibliography (transliterated):

1. Homich A.Z. *Toplivnay ekonomichnost i vspomogatelnie regimi teplovoznih diseley* [Text]. – 2-e izd. / A.Z. Homich. – M.: Transport, 1987 – 271 s.
2. Sergienko M.I. *Vibir ratsionalnoi poslidovnosti navantagennia dieseliv energetichnoi ustanovki teplovoza z dvoma diesel-generatorami* [Text] / M.I.Sergienko, O.M. Gonchariv, D.O.

Gordienko // *Visn. Shidnoukr. naz. un-tet im. V.Dalia* – 2012. №5(176). Ch.1 – S. 176 – 172. 3. Falendich A.P. *Vibir shliahiv optimizatsii roboti manevrovih teplovoziv, sho pratsuiut po sistemi dvoh odinit [Text]* / A.P. Falendish, V.O. Gatchenko, A.L. Sumtsov // *Visn. Shidnoukr. naz. un-tet im. V.Dalia* – 2012. №5(176). Ch.1 – S. 91 – 96. 4. Krushedolsky O.G. *Modeluvannia robochih prosessov transportnih dieseliv na ekspluatatsynih regemah [Text]*/ Navch.

posibn./ O.G. Krushedolsk. *Kharkiv, UkrDAZT, 2007 – 218 s. 5. Varakin A.I. Manevrovii i universalnyi lokomotiv s hibridnoi silovoi ustanovkoi I nakopitelem energii na baze elektrohimicheskikh kondensatorov [Text]* / A.I. Varakin, I.N. Varakin, V.V. Menuhov // *Nauka i tehnika transporta. 2007. - № 12. S. 34 – 40. http://www.elibrary.ru/item.asp?id=9516479.*

Надійшла до редакції 12.05. 2014

**Панасенко Микола Васильович** – доктор техн. наук, професор, головний науковий співробітник Державного підприємства «Державний науково – дослідний центр залізничного транспорту України», м. Київ, Україна, e-mail: panasicom@ukr.net.

**Пелепейченко Володимир Ігорович** – доктор техн. наук, професор, головний науковий співробітник Державного підприємства «Державний науково – дослідний центр залізничного транспорту України», м. Київ, Україна, e-mail: rvi49@bk.ru

**Сергієнко Микола Іванович** – канд. техн. наук, заступник генерального директора Укрзалізниці. м. Київ, Україна, e-mail: valdemar\_2008@ukr.net.

### ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ ДВУХДИЗЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ НИМИ

*Н.В. Панасенко, В.И. Пелепейченко, Н.И. Сергиенко*

Показано, что в двухдизельной энергетической установке тепловоза при динамическом изменении нагрузки дизель-генераторов с асинхронной на синхронную и в обратном направлении, возникнут нежелательные просадка или колебания эффективной мощности установки. Предложены мероприятия, которые позволят избежать этих явлений.

### CONTROL PRINCIPLES OF DIESEL GENERATORS OF A LOCOMOTIVE TWO-DIESEL POWER STATION IN PROCESSES OF LOAD REDISTRIBUTION BETWEEN THEM

*N.V. Panasenko, V.I. Pelepeychenko, N.I. Sergienko*

In the article it is shown that in a locomotive two-diesel power station under dynamic changes of diesel generators load from asynchronous to synchronous and vice versa, an unwanted slump or vibrations of efficient station power may happen. The measures that will help to avoid these phenomena are represented.

УДК 621.43.016.4

**В.В. Шпаковский**

### ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ УСТАНОВКОЙ ПОРШНЕЙ С КОРУНДОВЫМ СЛОЕМ

*В статье приводится анализ результатов испытаний самолёта Z-37 Chetelak с авиационным двигателем АИ-14М с корундовым слоем на рабочих поверхностях поршней. Установка поршней с корундовым слоем позволила улучшить эксплуатационные характеристики самолёта: на 20% увеличилась скорость вращения винта на номинальном режиме, на 15<sup>0</sup>С – 22<sup>0</sup>С снизилась температура масла во всех цилиндрах, на 18 м уменьшилась длина пробега при взлёте.*

Одной из основных проблем ремонта авиационной техники является восстановление эффективных параметров двигателей внутреннего сгорания, повышение их ресурса и надёжности после капитальных ремонтов. На основании результатов эксплуатационных ресурсных испытаний двигателей автомобилей, тракторов и тепловозов предложено для повышения надёжности и ресурса цилиндропоршневой группы при ремонте поршневых авиационных двигателей устанавливать поршни с корундовым слоем. Для восстановления эксплуатационных характеристик и увеличения ресурса после капитального ремонта авиационного двигателя внутреннего сгорания АИ-14М самолёта Z-37 Chetelak было решено использовать технологию гальваноплазменной обработки поршней из алюминие-

вых сплавов с образованием на наружной поверхности керамического корундового слоя [1,2]. Керамический корундовый слой имеет низкий коэффициент трения, что снижает механические потери и повышает износостойкость поверхностей трения; низкую теплопроводность, что уменьшает отвод тепла в поршень; высокую теплостойкость, предотвращающую прогар поршня и обеспечивает увеличение стойкости кольцевых перемычек. Гальваноплазменная обработка поршней автомобильных, тракторных и тепловозных [3,4] двигателей позволила увеличить ресурс двигателей более чем в 2 раза и повысить надёжность их работы [5]. Этот опыт позволяет надеяться на значительное повышение надёжности и ресурса и авиационных двигателей с воздушным охлаждением. При проведении