

У статті представлена методика визначення необхідної потужності маневрового тепловоза на конкретному місці його роботи, на основі регресійного аналізу. Вона містить у собі порядок збору інформації про використання тепловоза за обраний проміжок часу, її обробки, розрахунку і одержання необхідного параметра для забезпечення експлуатаційної роботи

Ключові слова: аналіз, використання, маневри, навантаження, потужність, регресія, режим, розрахунок, тепловоз

В статті представлена методика определения требуемой мощности маневрового тепловоза на конкретном месте его работы, на основе регрессионного анализа. Она включает в себя порядок сбора информации об использовании тепловоза за выбранный промежуток времени, ее обработки, расчет и получение требуемого параметра для обеспечения эксплуатационной работы

Ключевые слова: анализ, использование, маневры, нагрузка, мощность, регрессия, режим, расчет, тепловоз

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА З УРАХУВАННЯМ МІСЦЯ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Ю. В. Сиротенко

Заступник начальника депо

Локомотивне депо Харків-Сортувальний
ул. Железнодорожная, 4 в,
г. Харьков, Украина, 61040

1. Вступ

Робота маневрових тепловозів в експлуатації оцінюється по двох основних показниках, які визначають ефективність їх використання. Це – час виконання маневрової операції й вартість її виконання, що, в основному, визначається витратою палива. При цьому, час і вартість виконання маневрової операції тісно взаємозалежні й зворотно пропорційні (тобто чим менше витрачається часу на виконання розрахункової маневрової операції, тим вона дорожче через збільшення витрати палива). Крім того, збільшення швидкості прийому навантаження обумовлює протікання негативного процесу в силовій установці, що призводить до підвищення механічної й теплової напруженості деталей і вузлів дизеля, до скорочення міжремонтних пробігів тепловозів і збільшенню вартості їх ремонту.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Як правило завдання з вибору оптимальної потужності маневрових тепловозів проводилися на підставі техніко-економічного зіставлення варіантів при різних значеннях їх конструктивних параметрів з одночасним вирішенням питань про найкращу технологічну послідовність виконання маневрових пересувань, що входять у розрахункову маневрову операцію і не враховували реальне завантаження на конкретному місці роботи [1]. У численних роботах [2 – 4] підкреслюється, що дослідження, пов'язані з вибором параметрів маневрових тепловозів і характеристик їхніх силових установок, варто проводити комплексно, взаємозалежно. Тільки в цьому випадку можна домогтися поліпшення експлуатаційних якостей маневро-

вих тепловозів при досить високій якості перехідних процесів у їхніх силових установках.

З огляду на закордонну інформацію, яка висвітлює вибір потужності маневрових тепловозів необхідно відмітити, що публікації на цю тему практично відсутні. Для фірм, що створюють маневрові тепловози та компанії, які їх експлуатують ці питання є їх особистими ноу-хау і тому вони не дуже широко висвітлюються. Разом із тим необхідно відмітити, що у 90-х роках минулого століття Асоціацією американських залізниць (AAR) розглядалися задачі з оцінки технічного рівня (а відповідно і потужності) існуючих маневрових локомотивів, впровадження перспективних типів тягових передач та розробка технічних вимог на маневрові тепловози і визначення їх вартості [5, 6]. На підставі цього європейська компанія Adtranz та американська General Electric вирішили сумісно створити сімейство універсальних тепловозів нового покоління на основі останніх розробок, з тим, щоб шляхом неprinципових модифікацій можна було б отримати локомотив, який пристосовується до різних умов експлуатації [7, 8]. У Європі німецька фірма MaK випускає уніфікований ряд маневрових тепловозів G1203 та G1204, та наводить їх загальні характеристики [9]. Раніше цією фірмою були створені тепловози BR108/109 для важкої маневрової роботи. Зазначається їх загальна потужність, але як вона буде реалізовуватися в конкретному місці роботи не вказується. Взагалі, за даними німецьких економістів, маневровий тепловоз після його створення повинен відпрацювати не менше 20 років і забезпечувати на конкретному місці роботи свої основні техніко-економічні характеристики [10]. Однак як повинна реалізовуватися потужність маневрового тепловоза, відповідно умов його роботи відомостей про це не має.

Проведений аналіз дає змогу зробити висновок, що при вирішенні задачі вибору раціональних значень потужності силової установки маневрових тепловозів і їхньої зчипної маси авторами багатьох досліджень пред'являються різні, іноді суперечливі вимоги. Одні з них ураховують домінуючий вплив на параметри маневрових тепловозів за видом роботи, яка цими локомотивами виконується, а інші, при виборі даних параметрів, виходять із максимальної маси розформованих поїздів, а треті вважають головним для такого вибору завантаженість роботою сортувальної станції. Але в загальній постановці завдання усі вони воедино сходяться, що для виконання всього діапазону маневрових робіт необхідно враховувати їх характерну індивідуальність для кожного конкретного робочого місця, де працює відповідний локомотив.

Ціллю та задачею дослідження є узагальнення показників використання маневрових тепловозів та визначення об'єктивних оцінок їх потужносних параметрів при виконанні різних за обсягом маневрових операцій.

3. Визначення потужності маневрових тепловозів на основі умов їх експлуатації

У зв'язку з постійним підвищенням цін на енергоресурси та заходами щодо скорочення експлуатаційних витрат особливу актуальність приймають питання, пов'язані з покращенням продуктивності маневрових тепловозів і зменшення витрати ними дизельного палива. Головним з них у цьому напрямку є визначення потужності маневрового тепловоза з урахуванням умов його експлуатації. У наступний час, на підставі існуючих нормативних показників, не представляється можливим зробити раціональну оцінку потрібної потужності тепловоза для виконання конкретного обсягу експлуатаційної роботи. Так час простою тепловоза за зміну ще не говорить про досить ефективне використання його силової установки, а середня тривалість часу роботи його за зміну не дозволяє зробити відповідний висновок про достатність потужності для здійснення маневрових операцій. Необхідна потужність маневрового тепловоза визначається в основному методами тягових розрахунків і не враховує вплив на неї таких експлуатаційних факторів, як інтенсивність його завантаження й час роботи на тягових позиціях, кількості включень позицій контролера машиніста за зміну роботи, їх прив'язку до перехідних режимів роботи енергосилової установки й ряду інших [11].

Основними труднощами у визначенні режимів роботи маневрових тепловозів є неможливість використання для цієї мети спеціального динамометричного вагону, який широко використовується для магістральних локомотивів. Виходячи з цього працівниками локомотивного депо Харків-Сортувальний разом із співробітниками кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Української державної академії залізничного транспорту був розроблений та впроваджений спеціальний режимімір, який встановлювалася безпосередньо на дослідних маневрових тепловозах [12]. З його допомогою у процесі випробувань вимірялися: струм і напруга головного генератора, частота обертання колінчастого валу дизеля, швидкість руху тепловоза, номер і час роботи на відповідній позиції контролера

машиніста. На рис. 1, а, б і рис. 2, а, б, відповідно зібраних даних, наведений розподіл часу роботи і кількості перемикачів рукоятки контролера машиніста за зміну роботи маневрового тепловоза ЧМЕЗ.

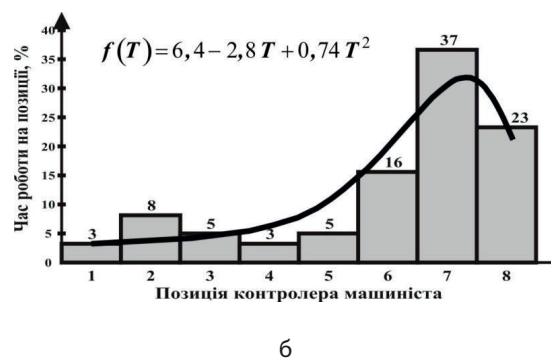
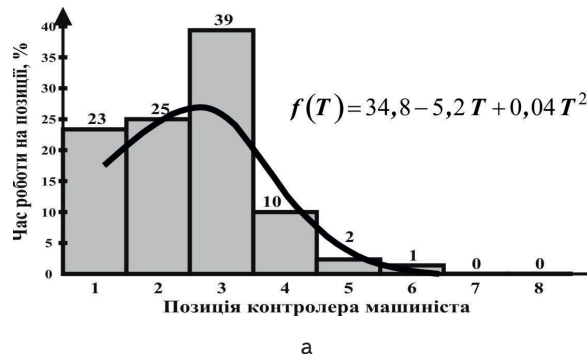


Рис. 1. Розподіл часу роботи на різних позиціях контролера машиніста на станції: а – Харків-Сортувальний; б – станції Основа

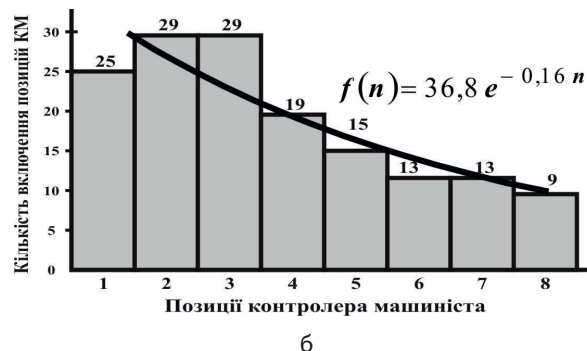


Рис. 2. Розподіл реалізованої кількості позицій контролера машиніста для кожного режиму роботи на станції: а – Харків-Сортувальний; б – станції Основа

На підставі цього були виділені характерні режими роботи маневрових тепловозів, які оцінювались за їх використанням на різних видах маневрів наступними коефіцієнтами.

Коефіцієнт використання за часом завантаження тепловоза за зміну роботи запропоновано визначати як

$$k_{\text{викор}} = \frac{T_1 + T_2}{T_1 + T_2 + T_3}, \quad (1)$$

де T_1 - сумарний за зміну час роботи тепловоза в русі під навантаженням, год; T_2 - сумарний за зміну час тепловоза в русі без навантаження, год; T_3 - сумарний за зміну час простою в гарячому стані, год.

Коефіцієнт ступеню використання за потужністю знаходився із співвідношення

$$k_{\Pi} = \frac{N_{e, \text{ман}}}{N_{e, \text{ном}}}, \quad (2)$$

де $N_{e, \text{ман}}$ - середньоексплуатаційна за зміну потужність тепловоза, кВт; $N_{e, \text{ном}}$ - номінальна потужність тепловоза, кВт.

Середньоексплуатаційна за зміну потужність тепловоза визначалася як

$$N_e = N_{e, \text{ман}} = \frac{\sum_{i=1}^8 \left(I_r U_r \frac{1}{\eta_r} T_{\Pi} k_{\Pi} \right)}{\sum_{i=1}^8 T_{\Pi} + \sum (T_2 + T_3)}, \quad (3)$$

де I_r - струм генератора, А; U_r - напруга генератора, В; η_r - к. к. д. генератора; T_{Π} - сумарний час роботи тепловоза в русі під навантаженням, год; T_2 - сумарний за зміну час тепловоза в русі без навантаження, год; T_3 - сумарний за зміну час простою в гарячому стані, год; i - позиція контролера машиніста.

Зібрані за допомогою режимоміра дані дозволили зробити оцінку режимів маневрових тепловозів ЧМЕЗ, що працюють на різних ділянках роботи.

На підставі проведеного розрахунку для досліджуваних станцій за допомогою методу регресійного аналізу були отримані залежності по коефіцієнтам використання.

Так для гіркової роботи на станції Харків-Сортувальний вони склали

$$k_{\text{викор}} = 1,68T_1 + 0,82T_2 - 0,005T_3 - 0,44T_1T_2 - 1,17T_1T_3 - 0,06T_2T_3 - 3,69T_1T_2(T_1 - T_2) - 0,6T_1T_3(T_1 - T_3) - 0,2T_2T_3(T_2 - T_3) + 1,1T_1T_2T_3 \quad (4)$$

для станції Основа

$$k_{\text{викор}} = 1,15T_1 + 1,5T_2 - 0,01T_3 - 1,18T_1T_2 - 0,3T_1T_3 - 1,1T_2T_3 - 0,18T_1T_2(T_1 - T_2) - 0,25T_1T_3(T_1 - T_3) - 0,6T_2T_3(T_2 - T_3) + 2,16T_1T_2T_3 \quad (5)$$

На основі цих досліджень була формалізована задача, яка дозволила визначити потрібну потужність маневрового тепловоза на конкретній ділянці виконання маневрових операцій з урахуванням цих додаткових параметрів. В результаті чого був сформований і згрупований спеціальний масив (по 1000-1500 даних для кожного місця роботи відповідного маневрового тепловоза), який у подальшому оброблявся на ПЕОМ із застосуванням спеціальної програми множинного регресійного аналізу. Як залежна змінна для рівняння регресії була обрана потужність тепловоза $f(N_e)$ (кВт), а як незалежні змінні обрані наступні: виконана робота на кожному режимі роботи тепловоза за зміну, кВт год (незалежна змінна x_1); сумарний час роботи на кожній позиції контролера машиніста, год (незалежна змінна x_2); загальна витрата палива за зміну роботи тепловоза, кг (незалежна змінна x_3); коефіцієнт використання тепловоза за зміну роботи (незалежна змінна x_4); час непродуктивного простою тепловоза за зміну роботи, год (незалежна змінна x_5).

Після цього на ПЕОМ за допомогою спеціального програмного забезпечення відшукувалися рівняння множинної регресії наступного виду

$$f(N_e) = A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_4x_4 + A_5x_5 + A_6x_1^2 + A_7x_2^2 + A_8x_3^2 + A_9x_4^2 + A_{10}x_5^2 + A_{11}x_1x_2 + A_{12}x_1x_3 + A_{13}x_1x_4 + A_{14}x_1x_5 + A_{15}x_2x_3 + A_{16}x_2x_4 + A_{17}x_2x_5 + A_{18}x_3x_4 + A_{19}x_3x_5 + A_{20}x_4x_5 \quad (6)$$

Коефіцієнти кожного отриманого рівняння множинної регресії перевірялись щодо їх колінеарності за змішаними та частковими коефіцієнтами множинної кореляції, на гомоскедастичність із визначенням похибок і статистичним аналізом залишків, а також на статистичну значущість коефіцієнтів за t і F критеріями. Внаслідок цього окремі з коефіцієнтів (як незначущі) були виключені із подальшого розгляду та аналізу і встановлено, що практично для всіх рівнянь множинної регресії, які досліджувались, статистично значущими коефіцієнтами стали тільки A_0 , A_1 , A_2 , A_6 , A_7 і A_{11} при незалежних змінних відповідно x_1 й x_2 . Відповідно цього далі відшукувалося тільки рівняння регресії виду

$$f(N_e) = A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_1^2 + A_4x_1x_2 + A_5x_2^2. \quad (7)$$

Кожне отримане рівняння множинної регресії досліджувалося на екстремум і визначалися значення локальних стаціонарних точок шляхом знаходження часткових похідних функції першого порядку. Так, як приклад, для умов гіркових робіт на станції Харків-Сортувальний було отримано наступне рівняння множинної регресії

$$f(N_e) = 1777,55 - 0,818x_1 - 48,992x_2 + 0,00031x_1^2 - 0,111x_1x_2 + 29,97x_2^2. \quad (8)$$

Його часткові похідні першого порядку склали

$$\begin{cases} \frac{df(N_e)}{dx_1} = -0,818 + 2 \cdot 0,00031x_1 - 0,111x_2; \\ \frac{df(N_e)}{dx_2} = -48,992 - 0,111x_1 + 2 \cdot 29,97x_2. \end{cases} \quad (9)$$

Дорівнюючи праву частину нулю і розв'язуючи отриману систему рівнянь дістаємо, що корінними є значення $x_1 = 2192,6$ і $x_2 = 4,88$. Після підстановки цих значень x_1 і x_2 в рівняння (7) було одержано $f(N_e) = 767$ кВт.

На підставі проведеного моделювання були побудовані універсальні номограми для визначення потрібної потужності маневрових тепловозів для виконання маневрової роботи (рис. 3).

Аналогічним чином були отримані значення потрібної максимальної потужності маневрових тепловозів для різних місць їх експлуатації, які наведені на рис. 4.

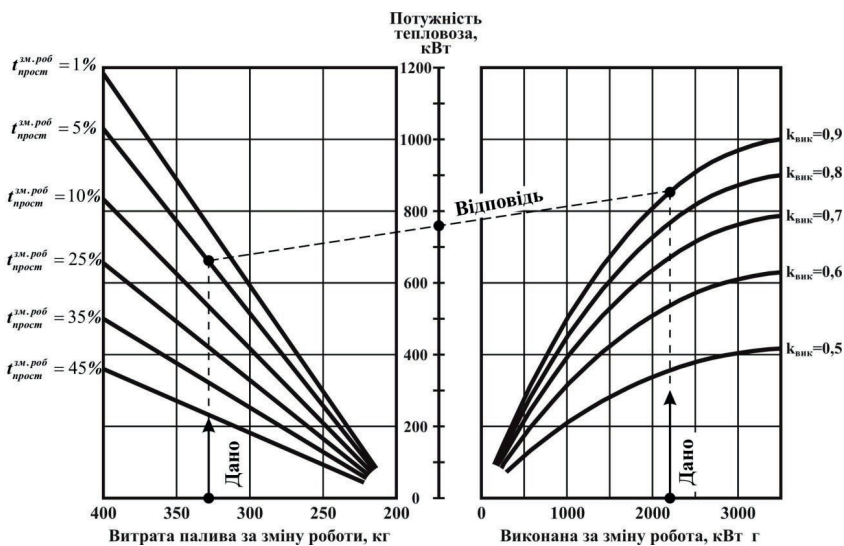


Рис. 3. Номограма для визначення потрібної потужності маневрового тепловоза для станційних маневрів

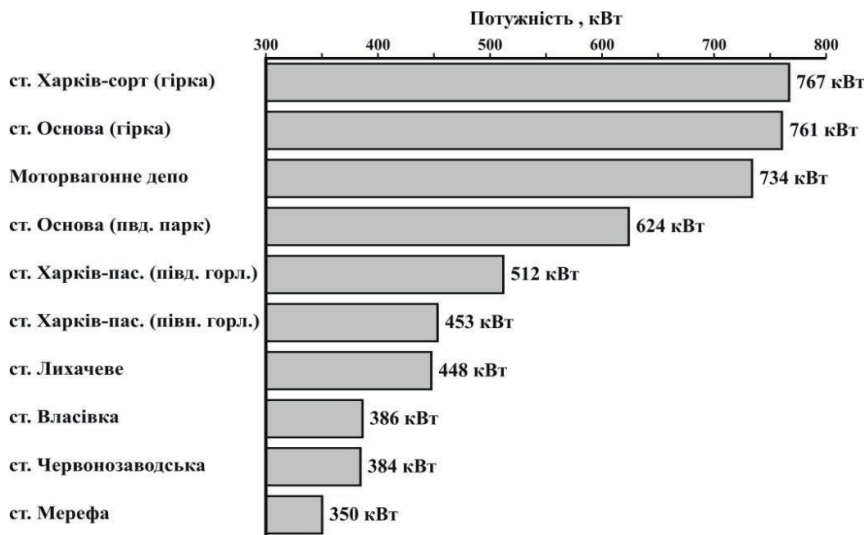


Рис. 4. Розрахункова потрібна потужність маневрових тепловозів ЧМЕЗ для різних місць їх експлуатації

За даною методикою у наступний час працівниками локомотивного депо Харків-Сортувальний виконується додаткове регулювання потужності для конкретного місця роботи маневрових тепловозів.

4. Висновки

1. На підставі дослідної експлуатації весь парк маневрових тепловозів за окремим видом робіт був класифікований по режимам роботи і для кожного з них визначені характерні маневрові операції, з визначенням в них реалізованої потужності та витрати палива.

2. Запропонована методика, за якою проведене моделювання потужності маневрового тепловоза з урахуванням умов його експлуатації, на основі регресійного аналізу. На підставі додаткових параметрів, які визначалися під час дослідної експлуатації маневрових тепловозів складалось рівняння регресії та за допомогою програмного забезпечення визначалась вагомість його коефіцієнтів і їх значущість. Після цього отримана функція перевірялась на екстремум і знаходились оптимальні значення її складових.

3. Наведений приклад визначення оптимальних значень потужності маневрового локомотива, який виконує гіркову роботу. На підставі виконаної роботи за зміну, яка склала 2 192,6 кВт·год і сумарного часу роботи на кожній позиції контролера машиніста (4,88 год.) отримана розрахункова потрібна потужність енергосилової установки тепловоза для виконання гіркових робіт, яка повинна становити не менш 767 кВт.

4. За результатами проведеного моделювання були побудовані універсальні номограми для практичного визначення потрібної потужності маневрових тепловозів для виконання маневрової і гірково-вивізної роботи у залежності від обсягу виконаної роботи, коефіцієнту використання за потужністю, часу корисної роботи тепловоза за зміну (для станційних маневрів) або масою маневрового складу (для гірково-вивізної роботи), а також витратою палива за зміну.

Література

1. Казанцев, В. П. Определение продолжительности маневровых передвижений и выбор маневровых локомотивов [Текст] / В. П. Казанцев // Труды МИИТ. – 1963. – Вып. 203. – С.23-58.
2. Бабанин, А. Б. Улучшение переходных режимов работы маневровых

- тепловозов на промежуточных позициях [Текст] / А. Б. Бабанин, Ю. В. Сиротенко, И. В. Мымриков // Локомотив-информ. – 2009. – № 5-6. – С.4-8.
3. Баранов, Н. А. Особенности процесса разгона двухтактного дизеля с газотурбинным наддувом [Текст] / Н. А. Баранов // Двигатели внутреннего сгорания. М.: НИИинформтяжмаш. – 1965. – Вып. 655. - № 10. – С. 49-56.
 4. Боровой, Н. Е. Влияние веса поездов на объем маневровой работы [Текст] / Н. Е.Боровой // ТрудыМИИТ. М.: Трансжелдориздат, 1962. – Вып. 137. – 384 с.
 5. Die Modernisierung des Parks der Diesellokomotiven V100-BR211. - Eisenbahningenieur, 1995. – №8. – P. 124-126.
 6. Peters, J. AC traction gains support in the USA [Text] /J. Peters, R. Catuldi // International Railway Journal, 1995. – №6. – P. 61-65.
 7. Swenson, C. AC traction locomotives for heavy in North America [Text] / C. Swenson // Railway Technology International. – 1993. – №4. – P. 77-78.
 8. Greenfield, M. AC traction delivers: new locomotives prove them serves in revenue service [Text] / M. Greenfield // Progressive Railroading. – 1995. – №12. – P. 47-51.
 9. Shtern, V. The new concept of shunting diesel locomotives BR108/109 [Text] / V. Shtern //International Railway Journal. – 1997. – №4. – P. 43-46.
 10. Schwerdtfeger H., Mais K. Erprobung einer neuen dieselektrischen Lokomotive in Drehstromtechnik bei den Zechenbahn und Hafенbetrieben RuhrMitte der RAG [Text] / H. Schwerdtfeger, K. Maris // Eisenbahntechnische Rundschau, 1982. – №1-2. – P. 83-90.
 11. Одинцов, Л. В. Вопросы теории маневровой работы [Текст] / Л. В.Одинцов. - М.: Трансжелдориздат, 1947. – 214с.
 12. Сиротенко, Ю. В. Нормування експлуатаційних характеристик маневрових тепловозів за допомогою переносного автоматизованого комплексу [Текст] / Ю. В. Сиротенко, Р. В. Турчинов, С. А. Змій // Зб. наук. праць. Харків.: УкрДАЗТ. - 2011. – Вып. 127. – С.79-83.