

9. Селецький В.С. Застосування математичного апарату мереж Петрі на залізничному транспорті // Залізничний транспорт України. - 2009. - № 2. - С. 3 – 6.

10. Селецький В.С. Автоматизація формування поїзних перевізних документів на прикордонній сортувальній станції // Залізничний транспорт України. - 2011. - № 3. - С. 58 – 61.

11. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина IV. Про маркування мереж Петрі // Інформаційно–керуючі системи на залізничному транспорті. - 2014. - №1. - С. 17 – 22.

12. Селецький В.С. XML і математичний апарат мереж Петрі // Інформаційно–керуючі системи на залізничному транспорті. - 2015. - № 6. - С. 42– 45.

13. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі і XML // Інформаційно–керуючі системи на залізничному транспорті. - 2016. - № 1. - С. 62– 70.

14. Селецький В.С. Технологія розробки інформаційного забезпечення для моделей складних об'єктів // Інформаційно–керуючі

системи на залізничному транспорті. - 2016. - № 5. - С. 40– 45.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Смолій Орест Володимирович, магістр, начальник виробничого підрозділу «Львівське відділення філії “Головний інформаційно-обчислювальний центр» ПАТ «Укрзалізниця».

Вул. М. Гоголя, 1, Львів, Україна, 79007.

Тел.: +38 032 226 27 00.

E-mail: sovrlw@gmail.com

Селецький Василь Стасьович, к.т.н., провідний інженер виробничого підрозділу «Львівське відділення філії «Головний інформаційно-обчислювальний центр» ПАТ «Укрзалізниця».

Вул. М. Гоголя, 1, Львів, Україна, 79007.

Тел.: +38 097 146 61 07.

E-mail: selezkyj@ukr.net

Ресурсозбереження і екологія

УДК 629.421.8

Д-р техн. наук Капіца М.І.

Канд. техн. наук Мартишевський М.І.

Інженер Сербулов О.Ю.

ОБНОВЛЕННЯ ПАРКУ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВИЗІВ ПАРООКУМУЛЯТОРНИМ ТЯГОВИМ РУХОМИМ СКЛАДОМ

Ключові слова: безтопковий паровоз, пароаккумуляторний локомотив, маневрова робота, маневровий локомотив, енергетична установка, водяна пара, сила тяги, тяговий рухомий склад.

Вступ

В свій час на під'їзних коліях нафтоперегінних заводів, паперових фабрик, меблевих комбінатів і низки інших промислових підприємств з метою забезпечення пожежної безпеки не допускалася експлуатація звичайних паровозів, з труб або топків яких могла виле-

тити іскра. Тому логічно, що підприємства з таким технологічним процесом потребували застосування специфічних локомотивів, якими і виявилися безтопкові паровози.

На таких локомотивах встановлювався котел-акумулятор з робочим тиском від 18 до 35 кг/см². Тиск в котлі-акумуляторі в процесі виконання локомотивом транспортної роботи знижувався до рівня 3-4 кг/см². На необхідну енергетичну «підзарядку» витрачалося приблизно 0,5 год, тоді як звичайний паровоз екіпірувався десь протягом 1,2-1,3 год.

Тривалість роботи безтопкового паровоза між заправками за своїм прямим призначенням, як одиниці тягового рухомого складу (ТРС), становила 4-6 год, в залежності від транспортного навантаження. Такий період між заправками підтверджений практичним використанням паро-аккумуляторних паровозів в Німеччині та виконаними цільовими статистично-енергетичними розрахунками.

Історія залізничного транспорту колишнього Радянського Союзу засвідчує, що на

промислових підприємствах в свій час працювало багато безтопкових паровозів типу 0-2-0 зі зчіпною масою 30 т. В кінці 1940 року був випущений безтопковий паровоз БП-9П-01 типу 0-3-0, виконаний на базі паровоза серії 9П. У 1954 р. Муромський завод побудував аналогічний паровоз БП1-02 типу 0-3-0, який успішно пройшов випробування.

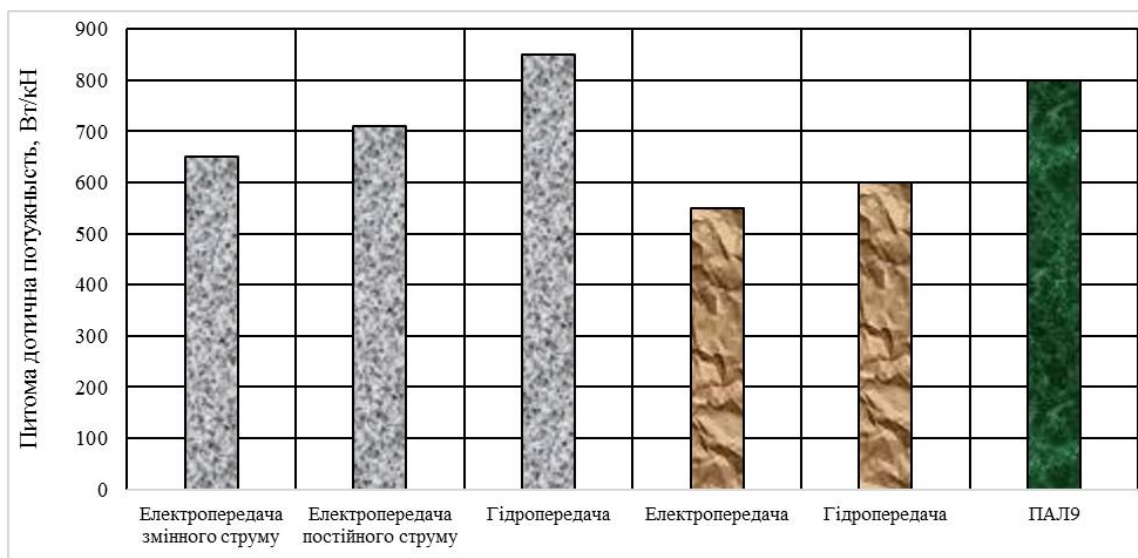
Останній паровоз типу 0-3-0 серії 9ПМ для промислового залізничного транспорту Муромський завод виготовив у 1957 році, а роком раніше тут побудували два перших промислових тепловози типу 0-3-0 серії ТГМ1. Таким чином, паровоз поступився своїм місцем тяговим засобам з іншим принципом дії силової установки – тепловозам і електровозам. На сьогодні основу парку локомотивів промислових підприємств складають тепловози з гідравлічною передачею (ТГМ4, ТГМ6 і ін.) та тепловози з електричною передачею постійного струму (ТЭМ2, ЧМЕЗ).

Огляд існуючих досліджень

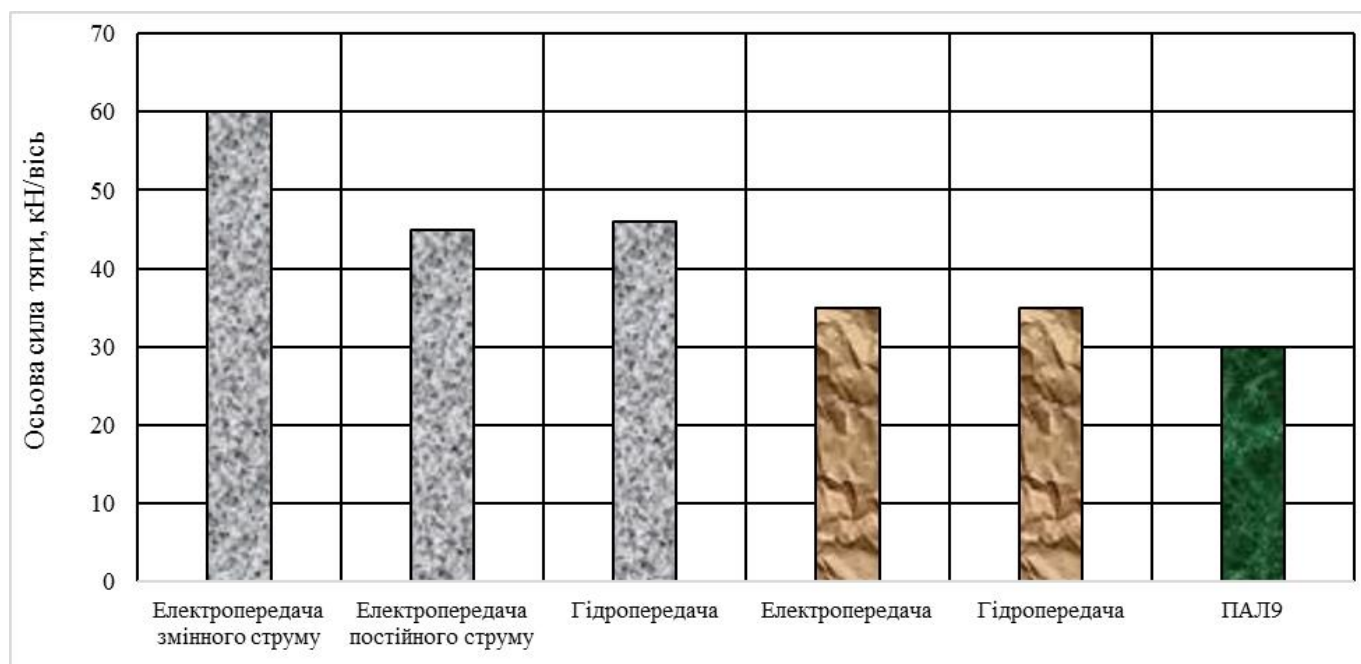
Аналіз основних показників маневрових і промислових тепловозів різних країн виготовлення проводився багатьма фахівцями В якості основних параметрів порівняння приймалися: питома маса, питома дотична потужність, питома сила тяги, осьова дотична потужність, осьова сила тяги, коефіцієнт тяги. Отриманий висновок такий, що тепловози виробництва заводів колишнього Радянського Союзу мають менші тягові зусилля на одиницю потужності в порівнянні із зарубіжними

аналогами. Результати цих досліджень [1], дозволяють порівняти деякі характерні питомі показники локомотивів вітчизняного, на той час, і зарубіжного виробництва тепловозів маневрового і промислового роду служби (мал. 1–3). Перші три стовпчики гістограм на малюнках відносяться до локомотивів зарубіжного виробництва, наступні два – до вітчизняних локомотивів, а крайній справа – характеризує пароаккумуляторний локомотив 9-го проекту (ПАЛ9) на швидкості руху близько 30 км/год.

Відомо, що паспортний ККД тепловоза на номінальному режимі потужності дизеля становить 26-27 %, а ККД паровоза – 6-7%. Під час експлуатації дизельного локомотива, його ККД значно нижче заявлених паспортних даних. Зазвичай він не перевищує рівень 19-21 %. Це обумовлено специфікою виконання транспортної роботи локомотивами на режимах неповного їх транспортного завантаження, що за часом можуть займати лівову частку бюджету робочого часу, де ККД на 20-30% нижче. У разі виконання маневрової роботи середній експлуатаційний ККД тепловозів ще нижче, бо багато маневрових операцій характеризуються тривалою їх експлуатацією на режимі тепловозного холостого ходу. Результати отриманих у свій час статистичних досліджень [2] вказують про суттєві відносні витрати палива на режимі холостого ходу дизеля (табл. 1).



Мал. 1 – Питома дотична потужність маневрового тепловоза



Мал. 2 – Осьова сила тяги маневрового тепловоза

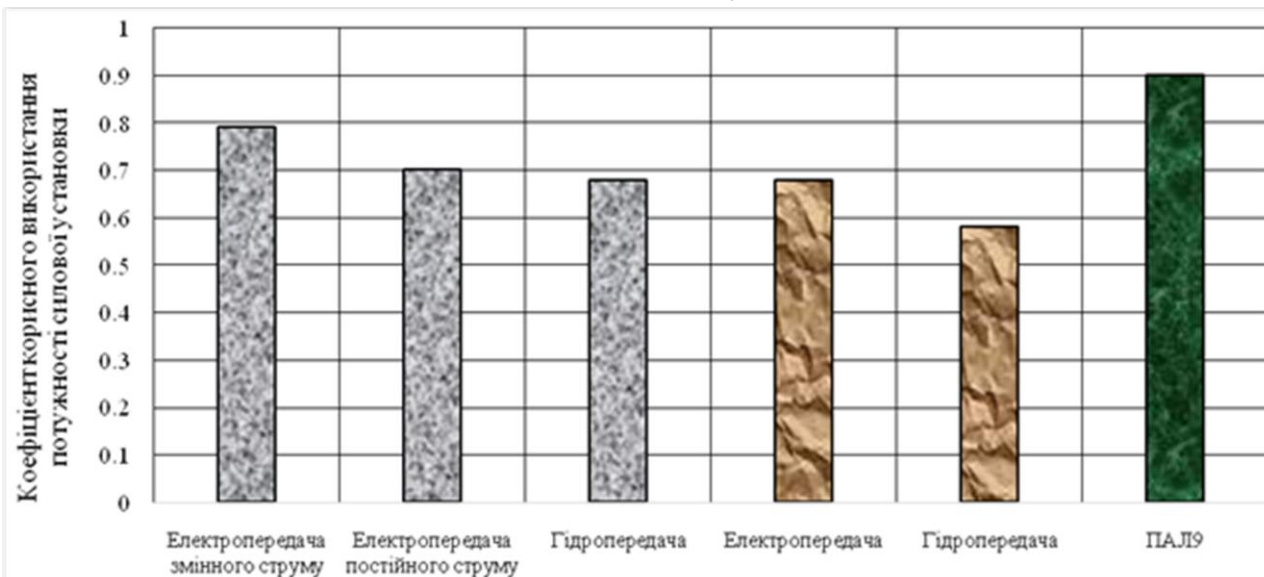
Табл. 1 – Завантаження дизеля маневрового тепловоза та доля його витрат палива на холостому ході

Характер виконуваної роботи	Доля часу роботи під навантаженням, %	Доля витрат палива на режимах холостого ходу (в загальному балансі), %
Маневрова	24–30	33–63
Гіркова або вивізна	27–30	23–46
Сортувальна з вантажними або вивізна з пасажирськими потягами	14–18	58–63
Маневровий рух в депо або по мало завантажених коліях примикання залізничних станцій	1–3	95–98

Таким чином, багато маневрових тепловозів працюють значний час з ККД 10–14 %. При цьому, деякі маневрові тепловози через значний час роботи на режимах холостого ходу мають середній експлуатаційний ККД нижче аналогічного параметру, характерного для паровозів.

Крім цього, пароаккумуляторні локомотиви (безтопкові паровози), про які буде йти мова в цій статті, однозначно мають суттєву перевагу над тепловозами за своїми екологічними показниками і забезпечують при цьому більш високу експлуатаційну економічність, яка залежить в значній мірі від коефіцієнта використання одиниці ТРС, що визначається техніко-економічними параметрами його силової

установки та передачі потужності (мал. 3). Внаслідок різних умов експлуатації можуть мати місце зміни в структурі загальних витрат маневрового локомотива, тому однозначна оцінка ефективності його силової установки для конкретних умов експлуатації неможлива, бо у кожному випадку потрібний аналіз окремих оцінювальних критеріїв використання даної тягової одиниці. Оскільки в майбутньому фінансово-економічний чинник стане ще значимішим, доцільно виконувати цільовий аналіз ефективності локомотива безпосередньо на місці експлуатації одиниць ТРС.



Мал. 3 - Коефіцієнт корисного використання потужності силової установки маневрового локомотива

Основна частина

Застосування сучасних технологій в енергетичній та конструкторській складових робить пароаккумуляторний локомотив ще більш конкурентоспроможним в порівнянні з тепловозом. Цільовий аналіз підтверджує, що сьогодні така ніша для їх впровадження реально існує не тільки для умов промислових підприємств, але, що не менш важливо, і для залізниць України.

Для замовника сучасного пароаккумуляторного локомотива важливими і навіть визначальними є витрати на життєвий цикл цих сучасних «ретро-локомотивів», які включають в себе витрати на їх первинне придбання як основних засобів, подальшу експлуатацію, обслуговування, ремонт та утилізацію. Вартість «життєвого циклу» безтопкового паровоза суттєво нижча ніж тепловоза (в порівнянні з ЧМЭЗ - в сім разів) за рахунок витрат, пов'язаних з розробкою та виготовленням «нового-старого» пароаккумуляторного локомотива з відносно простою конструкцією і невеликою кількістю комплектуючих.

З огляду на міркування екологічного характеру, які особливо важливі в умовах сучасних мегаполісів, залізничному транспорту в якості конкурентоспроможного ТРС маневрового типу абсолютно реально можна запропонувати безтопковий паровоз з котлом-аккумулятором, який на першому етапі відродження паровозної тяги можна використовувати на

залізничних вузлах, де він швидше підтвердить економічний ефект від свого впровадження, а також на промислових підприємствах, основна виробнича технологія яких зможе органічно забезпечити дешевий процес екіпірування пароаккумуляторних локомотивів.

Сьогодні через багатолітню зношеність тягового рухомого складу працівники локомотивних підприємств залізниць та промислових підприємств залізничного транспорту (ППЗТ) вимушені все частіше проводити йому позапланові ремонти. Застосування сучасних ремонтних технологій безперечно позитивно сприяє більш стабільному забезпеченню перевезень справним і ефективним ТРС, але цей процес теж має свої обмеження. Не слід забувати, що «старіння» ТРС може бути з часом не тільки фізичне, але й моральне.

Стосовно тепловозів моральний знос їх енергетичних установок (останнє тут приведено авторами в множині, бо моральний знос сьогодні можливо віднести практично до всіх дизелів наявних тепловозів) є проблемою стратегічно ще важливішою, чим у випадку фізичного зносу, бо вітчизняні проекти сучасних конкурентоздатних тепловозних дизелів відсутні.

Не дивлячись на це у проекті «Програми прогнозного оновлення рухомого складу ПАТ «Укрзалізниця» на період до 2021 року»

зазначено, що, згідно з планом, кількість утримуваних в інвентарному парку магістральних і маневрових тепловозів необхідно скоротити приблизно до 1600 одиниць. Виникає питання: чи поліпшить практичне виконання зазначеного планового обсягу скорочення інвентарного парку ТРС технічний стан самого парку і чи є зазначені організаційно-технічні заходи тим самим ефективним планом оновлення тягового рухомого складу?

В частині ремонтних витрат не тільки технічний стан локомотива суттєво збільшує експлуатаційні витрати. Постійну складову, будучи самим суттєвим елементом економічних витрат в експлуатації, вносять витрати по статті «паливно-енергетичні витрати». На жаль, надмірно висока ціна дизельного палива та його недостатність не можуть додати позитиву сучасній економічній ефективності тепловозів на тлі енергетичної безпеки Україні.

Зниження зазначених у проекті «Програми прогнозного оновлення РС» витрат дизельного палива на 20–30 % можливо віднести, на жаль, лише до імпортованих тепловозів чи їх дизелів, а це в абсолютному вираженні стосовно маневрових тепловозів складе, як зазначено в проекті «Програми прогнозного оновлення РС», 14 одиниць або десь 3-4 %. Виникає логічне запитання: де ж тут «прогрес» і реальні перспективи сучасного оновлення маневрового тепловозного парку, якщо процес його «оновлення» розтягнеться на десятки років?

Об'єктами предметної дискусії можуть бути сучасні рішення з вирішення проблем, пов'язаних з маневровими тепловозами серій ЧМЭЗ (залізниця) і ТЭМ2, ТГМ4 та ТГМ6 (промислові підприємства різного профілю). Сьогодні найбільш ефективними можуть бути сміливі та різновекторні технічні рішення, які дозволяють динамічно та суттєво впливати на вирішення проблеми щодо економії енергоресурсів, яка є однією з найбільш актуальних у сучасності, бо якщо закупівля за певним переліком запасних частин до тепловозів можлива у вітчизняних виробників, то дизель, як енергетична установка тепловозу, може бути закуплений за валюту лише за кордоном.

Результати комплексу проектно-конструкторських робіт, виконаних колективом кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни» ХІТУ ще в 1986 році по переведенню дизеля ПД1М тепловоза ТЭМ2 (м. Пенза, РФ) на газо-дизельний цикл роботи виявив ряд проблем,

пов'язаних з розробкою і впровадженням системи живлення силової установки природним

газом, які не були вирішені у повному обсязі ні тоді, ні до сьогодні. Це був на той час пілотний проект для Міністерства шляхів сполучення Радянського Союзу, але РІЗТ (м. Ростов-на-Дону, РФ) якому було доручено створення системи живлення газом тепловозного дизеля не зміг її якісно і вчасно спроектувати для реального впровадження в силовій установці з двигуном внутрішнього згорання, що мав би працювати за газо-дизельним циклом.

Ідея впровадження пароаккумуляторних локомотивів, яка пропонується авторами статті, сьогодні наскільки «стара» і настільки ж «нова», бо пропонується зацікавленим державним чи приватним підприємствам, у яких виконуються певні обсяги маневрово-вивізних робіт, прийняти участь в фінансуванні проекту та подальшому використанні безтопкових локомотивів. Які ж переваги і які недоліки має такий тяговий агрегат?

В результаті впровадження пароаккумуляторного локомотива, досягаються наступні позитивні ефекти:

1. Відмова від використання суттєвої частини нині діючого парку маневрових тепловозів шляхом їх рівноцінної заміни запропонованим пароаккумуляторним ТРС, з відповідним скороченням витрат дизельного палива;

2. Зменшення на 80-90 % планових витрат на утримання (технічні огляди та ремонти) запропонованого ТРС, порівняно зі звичайним маневровим тепловозом;

3. Зменшення витрат на утримання обслуговуючого персоналу (пароаккумуляторний тяговий агрегат обслуговується одним машиністом без помічника);

4. Можливість роботи в запиленних, забруднених чи вибухонебезпечних умовах без зниження ресурсу;

5. Абсолютна екологічність пароаккумуляторного локомотива, як по граничних допустимих викидах (в вихлопі присутній лише водяний пар), так і по граничних допустимих концентраціях шкідливих викидів.

Наведена порівняльна табл. 2 дозволяє додатково оцінити переваги і недоліки таких локомотивів, що за сумою свого впливу підтримують чи відкидають ідею відповідного фінансування та широкого впровадження пароаккумуляторних тягових агрегатів. Звичайно, останнє слово буде за фахівцями ПАТ «Укрзалізниця» чи Міністерства інфраструктури України, але відповідна «політична» воля ніяк не може не враховувати актуальність

сучасних вимог, як класичної так і сучасної економіки залізничного транспорту.

Даний різновид локомотива не потребує палива, а використовує пару відповідного тиску та температури, яку періодично отримує при експлуатації від стаціонарних його джерел (котельня, паропровід, ТЕЦ). Слід зазначити, що за тяговими характеристиками пароаккумуляторний локомотив (ПАЛ) еквівалентний маневровим тепловозам, але є більш динамічним, що позитивно вплине на продуктивність маневрового ТРС і залізничних станцій в цілому.

Деякі характеристики пароаккумуляторного локомотива, що реалізуються вже сьогодні, приведені в табл. 3.

Розрахунковий строк окупності ПАЛ тільки за рахунок економії дизельного палива, в наслідок його заміни як енергоносія водяною парою, в залежності від інтенсивності експлуатації локомотива, складе 12-18 місяців. Строк експлуатації ПАЛ (за реальними експериментальними даними) складає 50-60 років.

Зовнішній вигляд безтопкових пароаккумуляторних локомотивів (виробництва Німеччини) в умовах реальної експлуатації наведено на фотографіях мал. 4.

Ознайомившись із вищевикладеним, у спеціалістів може виникнути питання: чи зможе, а якщо зможе, то в якій мірі запропонований тяговий агрегат замінити маневровий тепловоз (наприклад, тепловоз серій ЧМЭЗ, ТЭМ2, ТГМ4, ТГМ6).

Табл. 2 – Основні переваги і недоліки безтопкового пароаккумуляторного локомотива

Переваги	Недоліки
1. Суттєво дешевше (порівняно з дизельним паливом) робоче тіло, що використовується для отримання тягового зусилля на автозчепі	1. Необхідність у наявності стаціонарного джерела зовнішньої енергії: гаряча пара з тиском до 1,5 МПа
2. Відносно мала (порівняно з маневровим тепловозом) зчїпна маса ТРС такого типу	2. Відносно невеликий (порівняно з маневровим тепловозом) фонд робочого часу без дозаправлення пароводяного акумулятора (5–6 годин)
3. Малий радіус кривих, що може проходити тяговий агрегат в процесі виконання маневрової роботи (особливо важливий параметр для промислових підприємств)	
4. Висока екологічність транспортного засобу, що актуально для підприємств розміщених в умовах великих міст і виконуючих експлуатаційну роботу у їх межах	

Табл. 3 – Технічні характеристики сучасного ПАЛ виробництва Німеччини

Назва параметру	Технічні дані
Ширина колії, мм	1524
Маса без води (в робочому стані), т	34 (50)
Довжина по осях автозчепок, мм	9840
Відстань між осями (загальна база), мм	1800 (3600)
Діаметр коліс, мм	1050
Об'єм котла, м ³	21,0
Об'єм води, м ³	17,8
Тиск пари, МПа	2,0
Сила тяги, т	9 (з місця – 12,5; мінімальна – 8,3)
Максимальна швидкість, км/год	30
Мінімальний радіус кривої, м	40 м
Максимальна вага состава що переміщується на прямій, т:	
– при 15 км/год (тяга – 8,3 т);	3200
– при 30 км/ч (тяга – 8,3т)	3000

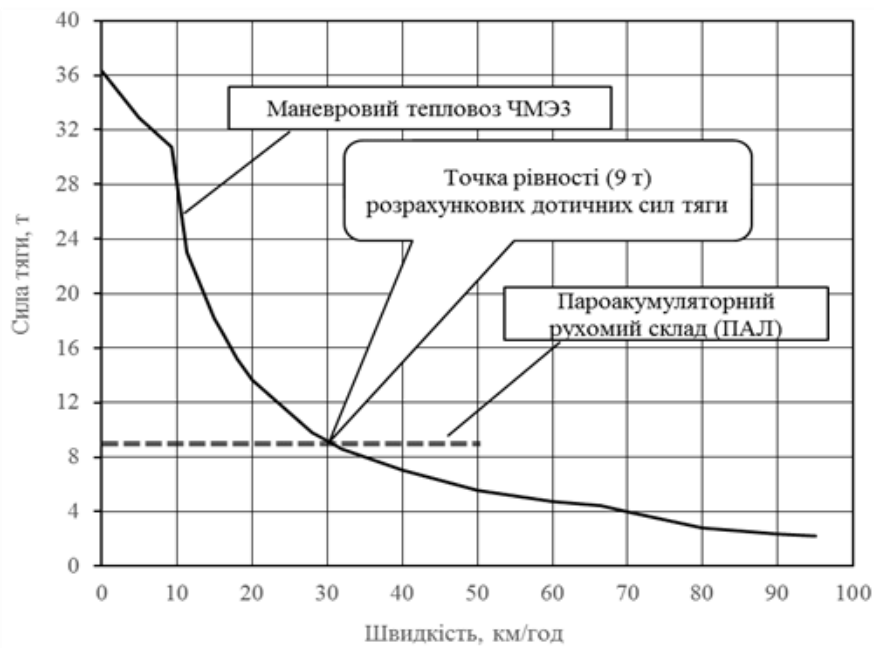
Мова йде про тягову характеристику майбутнього тягового агрегату, тобто про величину тягового зусилля на автозчепі в функції швидкості від його руху зі складом.

Діапазон еквівалентного заміщення маневрових тепловозів за величиною сили тяги тяговим агрегатом ПАЛ9 можливо визначити шляхом накладення в одних і тих же координатах їх тягових характеристик (мал. 5). Ордината точки рівності розрахункових дотичних сил тяги $F_{дот}$ (тепловоз) і $F_{дот}$ (ПАЛ9) склала приблизно 9 т, в діапазоні швидкості безтопкового локомотива ПАЛ9 від 25-30 км/год і більше. Тобто за силою тяги безтопкові локомотиви можуть гарантовано замінити маневрові тепловози на режимі номінальної потужності їх дизелів.

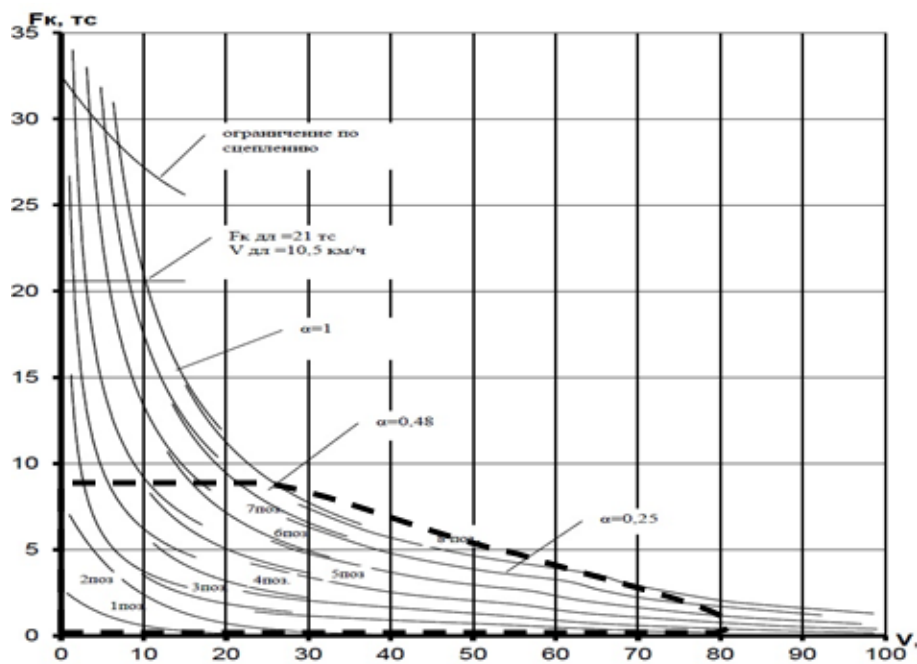
Зазвичай, з точки зору реалізації потужності силової установки (дизеля), маневрові тепловози переважну частину часу працюють на проміжних режимах потужності, яка відноситься до режимів, що відповідають холостому ходу тепловозного дизеля, а також 1-5 позиціям контролера машиніста. Пароаккумуляторний локомотив з силою тяги приблизно $F_{дот} = 9$ т здатен замінити маневрові тепловози практично на усіх (реальних в експлуатації) режимах потужності дизеля і сили тяги локомотива (позицій контролера машиніста) (мал. 6).



Мал. 4 – Зовнішній вигляд безтопкових пароаккумуляторних локомотивів в умовах їх реальної сучасної експлуатації



Мал. 5 – Порівняння тягових характеристик маневрового тепловоза і локомотива ПАЛ9



Мал. 6 – Зона заміщення тягових характеристик маневрового тепловоза за силою тяги на тягових позиціях контролера локомотивом ПАЛ9

Загальний вигляд пункту екіпірування пароаккумуляторних локомотивів маневрового сектору призначення представлено на мал. 7. Привертає на себе увагу чистота дільниці, простота схеми побудови пункту і його органічне співвідношення з тяговою територією.

Для забезпечення у майбутньому повного (100-відсоткового) заміщення маневрових тепловозів пароаккумуляторними тяговими

агрегатами, вже сьогодні необхідно розглянути напрямки вирішення цього питання, як для маневрової роботи на великих залізничних вузлах, так і на малодіяльних залізничних станціях.

Вітчизняний авторський проект (комплект робочих креслень для виготовлення пароаккумуляторних тягових агрегатів маневрового призначення) розроблено проектно-

конструкторською групою ТОВ «ГАЗГЕНЕРАТОРБАУ», при науково-технічному супроводженні проекту науковцями кафедри «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Колектив авторів розробки чекає пропозицій з розгортання подальших робіт зі сторони ПАТ «Укрзалізниця», Міністерства інфраструктури України та інших зацікавлених підприємств або їх структурних підрозділів.



Мал. 7 – Загальний вигляд пункту екіпірування пароаккумуляторних локомотивів

Висновки

1. Питання заміни маневрових тепловозів альтернативними видами тягового рухомого складу на сьогодні є актуальним і важливим, як з точки зору економіки, так і з точки зору зменшення шкідливого екологічного впливу залізничного транспорту на навколишнє середовище.

2. Проект конструктивної реалізації маневрового локомотива, що використовує доступну і більш дешеву альтернативну енергію, повністю відповідає сьогоdnішній енергетичній політиці держави.

3. Попередній техніко-економічний розрахунок ефективності впровадження на залізничному транспорті в маневровому секторі пароаккумуляторних локомотивів дозволяє стверджувати, що строк окупності вкладених коштів, лише за рахунок відмови від дизельного палива, є привабливим і складе приблизно 12-18 місяців.

4. Обсяг необхідного фінансування, з розрахунку на один пароаккумуляторний тяговий

агрегат, буде в 3-3,5 рази меншим ніж в варіанті придбання нового маневрового тепловоза.

5. Безтопкові пароаккумуляторні тягові агрегати можливо використовувати за прямим призначенням на пожежонебезпечних та вибухонебезпечних підприємствах.

Література

1. Балабин В. Н. Эффективность эксплуатации маневровых и промышленных локомотивов с гидравлической и электрической передачей / В. Н. Балабин // Транспорт российской федерации. – 2011. – №3 (34).

2. Хомич А. З. Эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей / А. З. Хомич. – Москва: Транспорт, 1979. – 144 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Капіца Михайло Іванович,

д. т. н., професор, завідувач кафедри «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010.

Тел. +38 (0562) 33 19 61.

E-mail: m.i.karica@ua.fm .

Мартишевський Михайло Іванович,

к. т. н., доцент кафедри «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010.

Тел. +38 (0562) 33 19 61.

E-mail: sosnovka49@gmail.com .

Сербулов Олексій Юрійович,

головний конструктор ТОВ «ГАЗГЕНЕРАТОРБАУ».

Вул. Космічна, 49-Г, м. Дніпро, Україна, 49040.

Тел. +38 (056) 7199069.

E-mail: asrb.mir@gmail.com