

УДК 629.421.8

*Д-р техн. наук Капіца М.І.  
Канд. техн. наук Мартишевський М.І.  
Інженер Сербулов О.Ю.*

## ЗАЛІЗНИЧНА СТАНЦІЯ, ЯК ЄДИНИЙ ТРАНСПОРТНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ВУЗОЛ

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

### Вступ

Маневрова робота для залізниць, з точки зору раціональності технології забезпечення перевізних процесів, є їх об'єктивною складовою, а з точки зору «чистої» економіки – є збитковою, тому що вона для залізничників,

як перевізників лише збільшує собівартість транспортної роботи що виконується. При цьому в сьогоdnішніх умовах, на перший погляд, знизити загальний обсяг витрат на виконання цієї роботи не представляється можливим, у тому числі і через безперервне зростання вартості паливно-мастильних матеріалів, електроенергії, експлуатації і ремонту маневрових тепловозів.

Суттєве зменшення сумарних витрат в частині енергетичних витрат перевізного процесу реально можливе, якщо розглядати залізничну станцію не тільки як єдиний транспортно-технологічний комплекс, але і як єдиний транспортно-енергетичний вузол (ТЕВ), де використання теплової і електричної енергії функціонально цілеспрямоване, мінімізоване і відповідає сучасному світовому розвитку підприємств такого роду. Розподіл складових енергетичних витрат залізничної станції наведено на рис. 1.



Рис. 1 - Складові енергетичних витрат залізничної станції в частині виконання маневрової роботи

Стабільність енергетичного забезпечення процесу виконання технологічної маневрової роботи на транспортному вузлі (станції), не дивлячись на рівень діючих цін, є обов'язковою для забезпечення безперервних залізничних перевезень.

Для визначення абсолютної чи питомої (для порівняння) потужності технологічного споживання енергії елементами транспортно-енергетичного вузла (станційного комплексу) всю споживану енергію необхідно перевести в тепловий еквівалент, застосувавши при цьому метод внутрішнього енергетичного балансу. Метод енергобалансу представляє собою розрахунок технічної системи на встановлення повного внутрішнього енергозв'язку її складових елементів при виконанні заданої роботи (згідно з технологічним графіком). При цьому було б бажано, щоб технічна система споживала тільки один, найбільш доступний і економічно вигідний, вид палива, для якого відношення питомої

вартості одиниці кількості палива в грн/кг (грн/м<sup>3</sup>) до питомої теплоти згоряння палива (кал/кг) має бути мінімальним, тобто величина  $q$  [грн / кал]  $\rightarrow \min$ .

Рішення цього завдання за методом енергобалансу дозволить забезпечити виконання маневрової роботи виключно за рахунок внутрішньостанційної компенсації вартості витрат спожитої транспортно-енергетичним вузлом теплової та електричної енергії, а також вартості палива, що використовується дизелями маневрових тепловозів.

Нижче приведено укрупнену методику покрокового рішення завдання стосовно цільового техніко-економічного обґрунтування доцільності впровадження на залізничних станціях транспортно-енергетичних вузлів.

В якості прикладу цільового розрахунку внутрішнього енергобалансу авторами розглянуто сортувальну станцію «Н», з вихідними даними наведеними у табл. 1.

Табл.1- Вихідні дані для виконання розрахунків енергобалансу станції

Найменування параметра	Одиниця виміру	Позначення	Значення
Сезонне споживання тепла за опалювальний сезон	Гкал *	$Q_{сез}$	583863
Добове споживання електроенергії	кВт-год	$E_{лдоб}$	6190
Усереднене добове споживання палива одним маневровим тепловозом серії ЧМЭЗ	кг/доба	$G_{нал.доб}$	400
Кількість маневрових тепловозів	шт.	$N_T$	6
Тривалість робочої зміни маневрового тепловоза	год	$T_{зм}$	12

\*) одиниці вимірювання величини сезонного споживання тепла за опалювальний сезон (Гкал) вжито, як загально вживані енергетиками залізничних станцій.

Маневрову роботу на станції Н передбачається виконувати за допомогою пароаккумуляторного тягового рухомого складу.

**Розрахунок необхідної кількості спеціальних тягово-маневрових машин (СТММ) ПАЛ 9П (пароаккумуляторних локомотивів) на станції.**

Розрахунок виконуємо з обов'язковою умовою забезпечення станцією виконання необхідного обсягу маневрової роботи.

Здійснювану маневрову роботу визначаємо через розрахунок кількості палива, спожитого дизелями тепловозів за добу:

$$G_{N_T} = G_{нал.доб} \cdot N_T = 400 \cdot 6 = 2400 \text{ кг,}$$

де  $G_{нал.доб}$  – усереднене споживання палива одним маневровим тепловозом,  $G_1 = 400$  кг;

$N_T$  – кількість маневрових тепловозів, одночасно працюючих на станції згідно з середньодобовою інтенсивністю технологічного процесу (табл. 1),  $N_T = 6$  шт.

Загальна добова кількість витраченої енергії  $Q_{N_T}$  (кДж), при теплоті згоряння дизпа-

лива  $Q_H^P = 42500$  кДж/кг, складе:

$$Q_{N_T} = G_{N_T} \cdot Q_H^P = 2400 \cdot 42500 = 102000000 \text{ кДж.}$$

З реальним експлуатаційним ККД дизеля 10 %, при роботі на маневровому тепловозі [1], величина корисно витраченої за добу теплоти  $Q_{N_{тк}}$  складе:

$$Q_{N_{тк}} = 0,10 \cdot Q_{N_t} = 0,1 \cdot 102000000 = 10200000 \text{ кДж.}$$

При заміні маневрових тепловозів спеціальними тягово-маневровими машинами (СТММ) ПАЛ 9П (пароаккумуляторними локомотивами) в якості єдиного і універсального енергоносія транспортно-енергетичного вузла (ТЕВ) на станції «Н» використовується водяна пара. СТММ в процесі їх цільової експлуатації періодично заряджаються гарячою парою з надлишковим тиском до 20 атм, при цьому забезпечується виконання маневрової роботи до падіння тиску в пароаккумуляторі тягової одиниці до 3–4 атм. Після чергової енергетичної підзарядки СТММ цикл її роботи повторюється [2]. З урахуванням реального завантаження маневрового парку станції «Н», розрахунковий час роботи СТММ на одній зарядці становить приблизно 12 год., а час що витрачається на одне її екіпірування парою (періодичну підзарядку з гарячого стану) – 15–20 хв.

При кінцевому зарядному тиску пари в акумуляторі СТММ 16 атм і питомому для цього тиску тепловмістї насиченої пари 2794 кДж/кг, кількість корисно витраченої за добу водяної пари на виконання маневрової роботи складе:

$$V_{N_{тк}} = Q_{N_{тк}} / 2794 = 10200000 / 2794 = 3650 \text{ кг.}$$

Враховуючи, що експлуатаційний ККД спеціальної тягово-маневрової машини СТММ ПАЛ 9П становить десь 12%, то повна добова витрата водяної пари, з розрахунку на парк машин станції, складе:

$$V_{N_t} = V_{N_{тк}} / 0,12 = 3650 / 0,12 = 30416 \text{ кг.}$$

Оскільки одна тягово-маневрова машина споживає за добу (при двох зарядках) близько 5000 кг пари, то необхідна кількість машин для забезпечення виконаного раніше тепловозами обсягу маневрової роботи по станції Н складе:

$$N_{нал} = V_{N_t} / 5000 = 30416 / 5000 \approx 6 \text{ шт.}$$

Таким чином, як показують розрахунки, для заміщення роботи шести маневрових тепловозів необхідні шість СТММ ПАЛ 9П. При нормі величини питомої витрати пари на одиницю виконаної маневрової роботи 0,37

кг/ткм, приблизний загальний обсяг добової маневрової роботи станції складе:

$$A_{мп} = V_{N_t} / 0,37 = 30416 / 0,37 = 82200 \text{ ткм.}$$

### **Розрахунок необхідної паропродуктивності стаціонарного екіпірувального парового котла.**

Згідно з технологією роботи, час зарядки паром пароаккумулятора СТММ ПАЛ 9П в гарячому стані становить, близько, 20 хв. Враховуючи, що одночасно може здійснюватися зарядка двох машин, то всі маневрові машини можуть бути заряджені протягом однієї години. Кількість потрібної пари для разової зарядки однієї машини складе 2500 кг.

Необхідна мінімальна продуктивність екіпірувального парового котла (парової колонки) в разі одночасного екіпірування шести СТММ складе:

$$V_{котл.} = 2500 \cdot N_{нал} = 2500 \cdot 6 = 15000 \text{ кг/год.}$$

Тиск пари в котлі при розрахунках приймається 16 атм. Для виробництва 1 т пари при виборі в якості котельного палива, наприклад, торфу з питомою теплотою згоряння  $Q_H^P = 4500$  кал/кг, буде витрачатися 185 кг/т палива.

Таким чином, погодинна витрата палива (торфу) для екіпірувального котла приблизно складе:

$$G_{торф} = 185 \cdot V_{котл.} / 1000 = 185 \cdot 15000 / 1000 = 2775 \text{ кг.}$$

В якості стаціонарного екіпірувального парового котла, на думку авторів, може бути вдало прийнятий паровий котел, наприклад, «ТурбоРapid 15/16/203», паропродуктивністю 15 т/год і тиском насиченої водяної пари 16 атм.

Таким чином, для енергетичного забезпечення станційного парку СТММ ПАЛ 9П необхідною кількістю пари від екіпірувального парового котла, споживання палива (торфу) останнім складе 2775 кг/год або 66,6 т/добу.

### **Розрахунок загальної продуктивності станційного паромашинного генератора**

Пара на зарядку пароаккумуляторів станційного парку СТММ ПАЛ 9П (6 машин) забезпечується запропонованим в результаті раніше виконаних цільових розрахунків паровим котлом марки «ТурбоРapid 15/16/203», що мав би працювати, наприклад, на торфі

чи іншому паливі пилово-рослинного походження, десь протягом 2-х годин на добу.

Для вирівнювання споживання пари в інший робочий час надлишкова пара котла зможе надходити до стаціонарних буферних парових акумуляторів об'ємом 84 м<sup>3</sup> у кількості до 6-ти штук і до парової машини приводу загальностанційного електричного генератора потужністю десь 1000 кВт. Стаціонарні буферні пароакумулятори під час зарядки СТММ ПАЛІ 9П забезпечують надійну роботу загальностанційного електричного генератора, зі зниженою потужністю до 600 кВт.

Добове виробництво електроенергії вузловим паромашинним генератором орієнтовно становить 21000 кВт·год, з яких залізнична станція як єдиний транспортно-енергетичний вузол, споживає (згідно з вихідними даними для станції «Н») 6190 кВт·год, а надлишкова для цієї станції електроенергія обсягом 14810 кВт·год може бути використана, після її відповідного перетворення, на вирішення інших, можливо, навіть непрофільних енергетичних проблем.

Необхідно зазначити, що теплота, отримана при конденсації пари, складе приблизно 10 Гкал/год або 240 Гкал/добу і також може бути віддана станції для її власного споживання.

**Додаткове обладнання транспортно-енергетичного вузла та техніко-економічні показники його роботи.**

Згідно з викладеним розрахунком, до складу транспортно-енергетичного вузла залізничної станції «Н» додатково мають входити ще деякі пристрої, перелічені у табл. 2, в якості енергетичних підсистем ТЕВ.

*Табл. 2 – Додаткове спеціальне енергетичне обладнання станційного вузла для забезпечення його роботи як ТЕВ*

Назва пристроїв додаткового комплектування	Кількість, шт.
1. Тягово-маневрова машина СТММ ПАЛІ 9П	6
2. Паровий котел «ТурбоРapid 15/16/203» (15 т/год пари, 16 атм)	1
3. Паромашинний електричний генератор 1000 кВ	1

*Продовження табл. 2*

4. Бойлер-конденсатор (15 т/год пари)	1
5. Пароакумулятори (84 м <sup>3</sup> , 16 атм)	6
6. Парозарядні екіпірувальні колонки	2
7. Паропроводи, живильні насоси і арматура	-

Таким чином, ТЕВ розрахований і пропонується для залізничної станції «Н» згенерує за добу 21000 кВт·год електроенергії, 240 Гкал тепла і забезпечить 82200 ткм маневрової роботи, при добовій економії 2,4 т дизельного палива. При цьому він споживає 66,6 т торфу на добу.

Прийнявши існуючу на сьогодні вартість електроенергії 2,5 грн/(кВт·год), тепла – 1340 грн/Гкал, дизпалива – 23000 грн/т, торфу – 1000 грн/т і враховуючи викладену вище інформацію, можливо орієнтовно визначити деякі економічні макроекономічні показники діяльності залізничної станції, що додатково сформується за рахунок удосконалення енергетичної моделі ТЕВ:

додатковий добовий дохід (зменшення витрат):

$$D = 21000 \cdot 2,5 + 240 \cdot 1340 + 2,4 \cdot 23\,000 = 429300 \text{ грн.}$$

додаткові добові витрати (по статті котельне паливо «торф»):

$$B = 66,6 \cdot 1000 = 66600 \text{ грн.}$$

прибуток за добу:

$$P = D - B = 429300 - 66600 = 362700 \text{ грн.}$$

Таким чином, поставлена задача зменшення збитковості маневрової технологічної роботи на залізничній станції шляхом впровадження в якості тягового рухомого складу СТММ буде досягнута і маневрова робота станції, за рахунок її роботи у складі ТЕВ, де вона у споживанні енергії є неосновною (частка по споживанню пари становить близько 8%), буде приносити порівняльний додатковий дохід в розмірі близько 360 тис грн/добу.

Таким чином, розробка і впровадження транспортно-енергетичних вузлів, на думку авторів, дозволить успішно вирішувати сучасні інфраструктурні техніко-енергетичні проблеми багатьох залізничних станцій і вузлів, не залежно від їх класу.

Загальна технічно-організаційна ідея заключається в тому, що з метою зниження витрат на маневрову роботу в вагонних парках залізничних станцій, а також на інші технологічні процеси (теплові електростанції, заводи хімічної промисловості, металургійні комбінати, деревообробна промисловість і т. і.), пропонується спеціальна тягова маневрова машина з умовною назвою «СТММ ПАЛ 9П» із зусиллям тяги 9 т. Дана машина не потребує традиційного палива, а використовує технологічну пару, одержувану від стаціонарних парових котлів підприємств [2].

В процесі разова заправка (екіпірування) агрегату «СТММ ПАЛ 9П» виконується свіжою парою тиском до 20 атм і кількістю десь 2,5 т, після чого агрегат здатний виконувати маневрову чи вивізну роботу зі складом вагою 600 т і більше протягом 8–12 годин (останнє залежить від інтенсивності техно-

логічного процесу виконання маневрової роботи). Після розрядки пароаккумулятора він заряджається і цикл повторюється.

За своїми тяговим властивостям СТММ ПАЛ 9П майже повністю еквівалентна маневровому тепловозу, тому їх заміна на СТММ ПАЛ 9П дозволить повністю чи частково відмовитися від використання маневрових тепловозів.

Тільки за рахунок економії дизельного палива, яке сьогодні для держави є вкрай стратегічним енергоносієм, термін окупності СТММ ПАЛ 9П при її впровадженні складе 12–15 міс, що абсолютно задовольняє сучасним вимогам впровадження альтернативної техніки.

Слід зазначити, що вибір палива для отримання водяної пари буде вкрай суттєво впливати на техніко-економічні показники прямої технологічної діяльності станції (рис. 3).

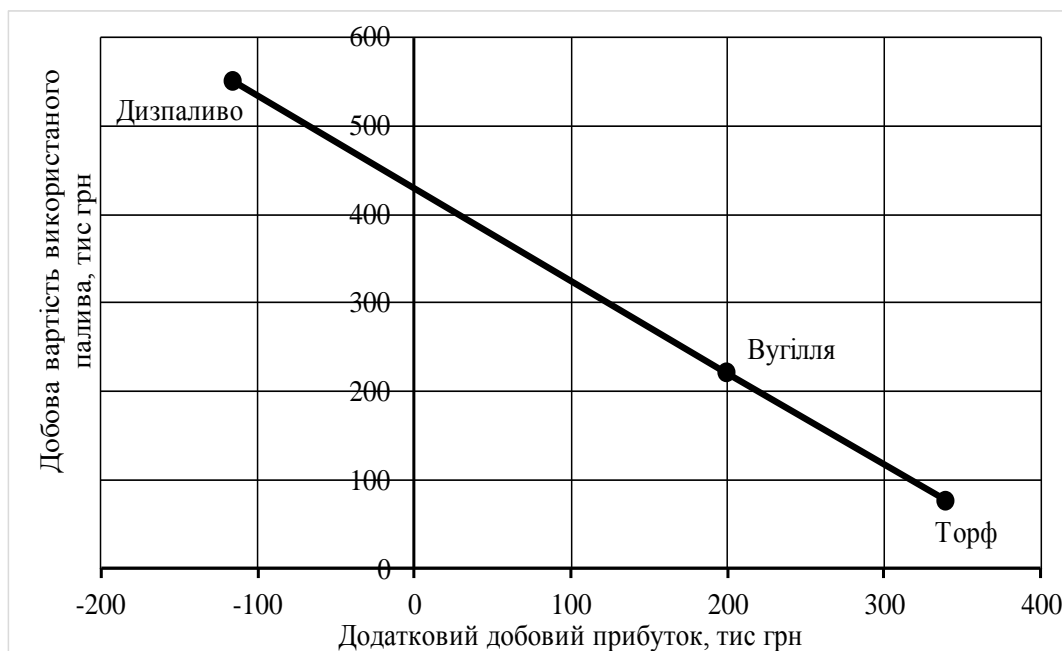


Рис. 3 - Вплив різних видів палива на техніко-економічні показники станцій у складі ТЕВ в частині виконання маневрової роботи, при заміні маневрових тепловозів на СТММ

До складових вартості використовуваного палива (на рисунку в якості прикладу приведені дизельне паливо, вугілля та торф) необхідно включати і витрати на його отримання, доставку на станцію та можливу попередню підготовку до використання.

Термін експлуатації СТММ ПАЛ 9П становитиме 50–60 років, а вартість життєвого циклу такого тягового агрегату буде десь в 7 разів менш життєвого циклу маневрового

тепловоза, наприклад, ТГМ4 і в 12 разів нижче від тепловоза ЧМЕЗ.

Результати виконаних тягових розрахунків підтвердили, що СТММ ПАЛ 9П зможе успішно реалізувати свої тягові якості [2] навіть при ухилі шляху 15 ‰, гарантовано забезпечуючи маневрово-вивізні роботи зі швидкістю до 15 км/год і максимальною вагою состава 310 т (5 навантажених вагонів).

Для маневрової роботи в умовах сортувальної залізничної станції (максимальний

ухил гіркової дільниці насування – до 8 ‰ чи іншої, несортувальної станції (максимальний ухил – десь 2-3 ‰) вихідні параметри для розрахунків (швидкість, профіль і т. і.) будуть «м'якші», що дозволить виконувати маневрову роботу з допомогою СТММ ПАЛ 9П і з вагою составів до 3000 т.

#### **Висновки.**

В результаті альтернативного, по відношенню до маневрових тепловозів, застосування СТММ ПАЛ 9П додатково будуть отримані наступні позитивні результати:

1. Зниження витрат, пов'язаних з періодичними ремонтами та технічними оглядами СТММ (орієнтовно на 90 %), в порівнянні з аналогічним обслуговуванням тепловозів;

2. Зниження витрат на обслуговуючий персонал, в частині заробітної плати (СТММ дозволяє обслуговування одним машиністом без помічника);

3. Можливість роботи СТММ в запиленіх і забруднених умовах, без зниження ресурсу;

4. Можливість використання на вибухонебезпечних підприємствах;

5. Абсолютна екологічність локомотивів (склад вихлопу – тільки водяна пара).

В завершенні автори статті звертають увагу спеціалістів та провідних менеджерів локомотивного господарства ПАТ «Укрзалізниця» на велику актуальність порушеного питання, вирішення якого вкрай позитивно впливає не тільки на зменшення економічних витрат у діяльності залізничного транспорту, але і на вирішення проблем у частині екологічного впливу ТРС на навколишнє середовище та рівень безпеки життєдіяльності в Україні.

#### **Література**

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

2. Оновлення парку маневрових тепловозів пароаккумуляторним тяговим рухомим складом / Капіца М.І., Мартишевський М.І., Сербулов О.Ю. // Залізничний транспорт України. - 2017. - № 4. – С. 30-38.

#### **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.kapica@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

## **РЕКЛАМА В ЖУРНАЛІ «ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ»**

**З питань розміщення реклами в науково-практичному журналі «Залізничний транспорт України», який видається філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця», звертайтеся на ім'я директора філії, за адресою: 03038, м. Київ, вул. І. Федорова, 39 або в редакцію журналу, за телефоном +38 (044) 309-68-93 чи на електронну пошту журналу: ztu1520mm@gmail.com.**