МОДЕРНІЗАЦІЯ

УДК 629.424

Гончаров О.М., канд. техн. наук, Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України, Кінтер С.О., Терещак Ю.В., канд. техн. наук, Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (Київ, Львів, Україна)

Аналіз передумов модернізації маневрових тепловозів Львівської залізниці гібридною енергетичною установкою

Ключові слова: *маневровий локомотив, технічний стан, розподіл відмов, гібридна енергосилова установка.*

Вступ і постановка проблеми

Перед локомотивним господарством залізниць України на даний час стоїть нагальна задача оновлення парку тягового рухомого складу, який має забезпечувати, відповідно до сучасних вимог, збільшення швидкості руху поїздів, зменшення енергетичних витрат на тягу поїздів та шкідливого навантаження на навколишнє середовище, підвищення надійності рухомого складу; збільшення терміну міжремонтних пробігів, покращення умов роботи локомотивних бригад.

Актуальність вирішення цієї задачі обумовлюється існуючим станом парку локомотивного господарства залізниць України, який характеризується високим ступенем фізичного та морального зношення та потребує заміни тягового рухомого складу, що експлуатується, за рахунок закупівлі локомотивів нового покоління та проведення модернізації існуючих.

Враховуючи очікувану відсутність, в середньостроковій перспективі, достатньої кількості коштів для закупівлі нових сучасних локомотивів, основну увагу в напрямку заміни тягового рухомого складу, що експлуатується, слід приділити заходам глибокої модернізації з одночасним подовженням терміну експлуатації локомотивів та покращенням їх техніко-економічних характеристик. Така модернізація дозволить за рахунок впровадження прогресивних технічних рішень досягти істотного скорочення експлуатаційних витрат при меншому, в порівнянні з придбанням нових локомотивів, рівні капіталовкладень при його модернізації.

Покращення техніко-економічних параметрів тягового рухомого складу досягається, як правило, за рахунок оновлення основних системи локомотивів: енергетичної установки з силовим обладнанням; екіпажної частини локомотива; систем управління та допоміжних систем, з відповідним зростанням вартості модернізації, в залежності від їх кількості.

В значній мірі ця проблема торкається тепловозів, задіяних як у поїзній так і в маневровій роботі і які складають істотну частку парку тягового рухомого складу залізниць України [1]. Внаслідок фізичного та морального зносу вони мають підвищені витрати палива і мастила та недостатню надійність. В цьому сенсі багатообіцяючим буде модернізація їх енергетичної установки.

Аналіз сучасних технічних рішень показує, що стосовно енергетичних установок цих локомотивів перспективним напрямком модернізації є перехід на гібридні структури, які забезпечують генерацію і поповнення запасів електроенергії. Наявність в них накопичувачів енергії дозволить не тільки забезпечувати сталий режим експлуатації дизеля, але й утримувати, зберігати та корисно використовувати енергію гальмування поїзда.

Як, показує світовий досвід експлуатація таких тепловозів, при забезпеченні відповідності характеристик енергетичної установки експлуатаційним умовам, дозволяє як знизити витрати палива так і значно скорити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Очевидно, що ефективність експлуатації модернізованих тепловозів буде залежати від коректності визначення умов майбутньої експлуатації, забезпечення раціонального співвідношення потужності дизеля та ємності накопичувача, врахування призначеного терміну служби тощо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Натепер накопичено певний досвід впровадження гібридної енергетичної установки на залізничному транспорті [2-6,8-12]. Найбільше поширення даного типу силової установки відбулось на маневрових тепловозах. Так, ще у 1986 році компанією ČKD Praha був побудований гібридний маневровий локомотив Řada 718 (рис. 1) [3]. Він оснащений дизельним двигуном потужністю 189 кВт, трифазним тяговим генератором ТА 610, тяговими електричними двигунами постійного струму серії ТЕ 015 С та Ni-Cd акумуляторною батареєю. До складу тягової батареї входять 480 нікель-кадмієвих акумуляторів типу НКС 300, ємністю 300 А•год. Повна вихідна потужність тепловоза складає 510 кВт. Акумулятори мають змогу заряджатися трьома способами: під час гальмування, від дизель-генератора при зупинках та стаціонарно

Рис. 1 – Гібридний маневровий локомотив Řada 718

Рис. 2 – Гибридный маневровый тепловоз Railpower GG20B Green Goat

від зовнішньо джерела напруги 380 В. Даний тепловоз дозволяв економити 20-30 % дизельного палива при виконанні експлуатаційної роботи, в порівнянні з традиційними тепловозами.

У США, в 2000-му році компанією Railpower була створена модель GG10K «Green Kid» з гібридною силовою установкою [3]. Згодом ця ж компанія випустила великий маневровий локомотив під назвою Railpower GG20B «Green Goat», який зображений на рис. 2. Схема гібридної технології, що застосовується в цьому локомотиві зображена на рис. 4. Двигун внутрішнього згоряння використовується лише для зарядки батарей, що дозволило значно скоротити витрати палива на холостому ходу. «Green Goat» оснащені чотирьохтактними дизельними двигунами Caterpilar C9 з турбонаддувом, а тип електропередачі змінно-постійного струму. Повна потужність та потужність дизеля тепловоза GG20B Green Goat у порівнянні з GG10K Green Kid зросла в двічі. Досвід експлуатації цих локомотивів у США показує, що економія дизельного палива на них складає від 40 до 60 %.

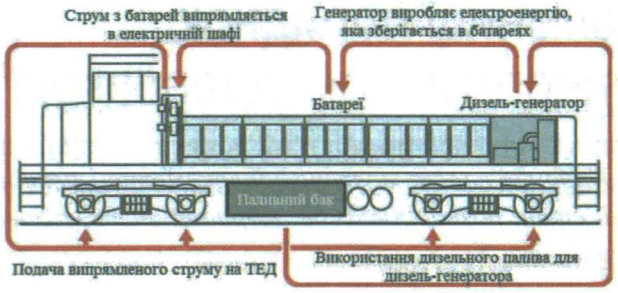

Рис. 3 – Схема гібридної передачі, яка застосовується на тепловозах «Green Goat»

У 2006 році німецьким філіалом концерну «Alstom» розроблено свою модель гібридного локомотива. Прототипом Alstom BR 203H став німецький маневровий тепловоз BR203. На тепловозі розміщений дизельний двигун потужністю 200 кВт та нікель-кадмієві акумуляторні батареї.

Схема гібридної енергетичної установки дозволяє застосовувати декілька варіантів живлення споживачів, тобто локомотив може споживати електроенергію, яка виробляється генератором або ту, котра накопичена в батареях, а також можливе одночасне використання обох джерел електроенергії (рис 4).

У 2007 році компанія «GE Transportation» представила магістральний гібридний локомотив Evolu-tion Hybrid locomotive. У цьому локомотиві, на відміну від вище представлених, роль накопичувача енергії виконують інноваційні елементи живлення, які спроможні використовувати і зберігати рекуперативну енергію. Повна потужністю такого тепловоза складає 4400 к.с.

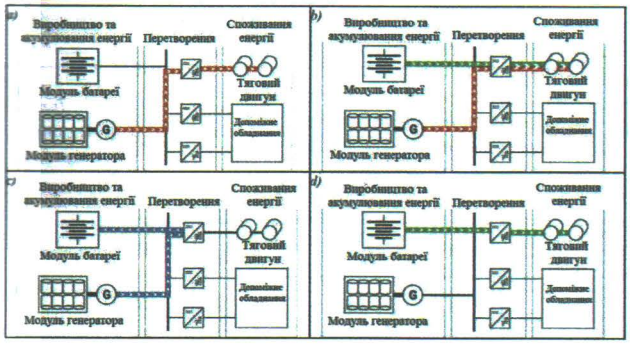

Рис. 4 – Способи організації потоків енергії в різних режимах роботи системи: базовий режим, як дизель-електричний локомотив (a), гібридний режим для піку потужності (b), батарея поповнюється під час тяги від генератора (c), режим роботи від батарей в той час, коли модуль генератора вимкнений (d)

Компанією Toshiba Logistics у 2010 році був сконструйований тепловоз з накопичувачами енергії Toshiba HD300. Розробка цього локомотива базувалася на концепції ECO-friendly, clean locomotive (екологічний локомотив) [9]. Цей локомотив, в порівнянні із обраним прототипом, дозволив знизити кількість шкідливих викидів на 62 %, зменшити витрату палива на 36% та значно знизити рівень шуму.

Можливі варіанти трансформації енергії для цього локомотива представлені на рис. 5. Тип електропередачі локомотива, – змінно-змінного струму.

Спеціалістами ВНИКТИ, м. Коломна, був розроблений і виготовлений маневровий акумуляторний локомотив ЛАМ-01 [10]. Він створений на базі екіпажної частини і кузова тепловоза ЧМЭЗ та призначений для експлуатації в екологічно чистій зоні з можливістю заходу у виробничі приміщення. Технічні характеристики дозволяють йому виконувати всі види маневрів з пасажирськими поїздами масою до 1000 т на станційних і деповських коліях, які мають ухил не більше 5 ‰.

У 2011р ВАТ «Людиновский тепловозостроительный завод» було створено новий маневрово-вивізний дизельний локомотив з інтелектуальним гібридним асинхронним приводом, – тепловоз ТЭМ9Н Sinara Hybrid. Тепловоз має можливість працювати в різних режимах: лише від дизеля, лише від накопичувача енергії (протягом 60 хв.) або використовувати сумарну енергію дизеля та накопичувача (60 хв.).

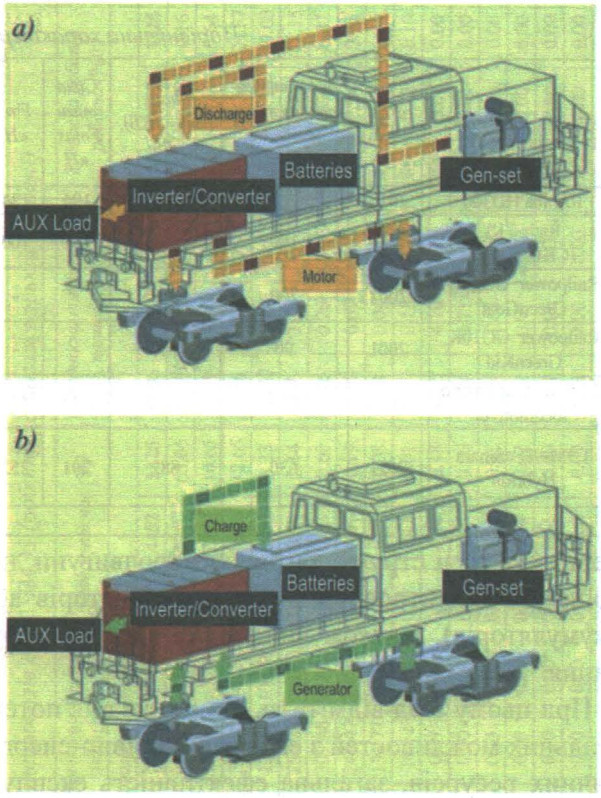

Рис. 5 – Режим передачі енергії на живлення від дизеля (a) і рекуперацийний (b) режим для гібридного локомотива HD300

Основний різновид локомотивів з гібридною енергетичною установкою із загальними технічними характеристиками наведено в табл. 1.

Певна різноманітність реалізованих при створенні локомотивів з гібридною енергосиловою установкою технічних рішень ставить питання вибору раціональної конструктивної схеми та характеристик їх основних підсистем.

Найбільшу ефективність при впровадженні гібридної енергосилової установки, внаслідок специфіки робіт, що виконуються, слід очікувати саме для маневрових тепловозів.

Розгляд застосування гібридної енергосилової установки для маневрових тепловозів залізниць України проведено в [4,7,8]. В [13, 14] обґрунтовані окремі варіанти конструктивної схеми для маневрових тепловозів українських залізниць. Аналіз показує, що найбільш перспективним напрямком модернізації маневрового тепловоза ЧМЭЗ є заміна штатної енергетичної установки на гібридну, яка містить один або два дизелі меншої потужності, тягові генератори змінного струму,

Таблиця 1.

Порівняльна характеристика гібридних локомотивів

Серія локомотив	*Рік випуску*	*Ефективна потужність дизеля Ne, кВт*	*Nmax (диз+АКБ), кВт*	*Сила тяги Fmax, кН*	*F∞, кН*	*Конструктивна швидкість Vmax, км/год*	*Службова маса, т*	*Осьова формула*	*Тип накопичувача енергії (НЕ)*	*Економія палива, %*	*Емність накопичувача, А•год*	*Тип електропередачі*
Toshiba HD300	2010	205	500	196	124	55	60	C_o-C_o	Li-ion	36	-	Змінно-постійного струму
Řada 718 (ČKD Praha)	1986	189	600	161	104	65	64	C_o-C_o	АКБ NiCd NKS300	20-30	300	
Railpower GG20B GreenGoat	2002	200	1400	-	-	96,5	127	C_o-C_o	АКБ свинцево-кислотна	20-70	1200	
Railpower GG10K GreenKid	2001	90	700	-	-	48,3	112,5	B_o-B_o		до 55	1200	
GE Evolution Hybrid locomotive	2007	3280	3280	534	427	120	207	C_o-C_o	АКБ NaNi-CL2	15	-	Змінно-змінний струм
ТЭМ-9Н «Sinara Hybrid»	2011	630	882	291	253	100	90	C_o-C_o	LiFePO4 і супер конденсатори	до 30	-	

перетворювачі струму, тягові електродвигуни, накопичувач електроенергії (батареї іоністорів або акумуляторів), а також відповідну систему керування.

При цьому слід відмітити, що реалізація потенціальних можливостей з економії паливно-енергетичних ресурсів, загальна ефективність експлуатації створюваного чи модернізованого тепловоза буде залежати від вирішення низки питань, в першу чергу, від відповідності характеристик встановленого обладнання реальним розподілам потужностей і часу роботи тепловоза.

Мета статті

Оцінка доцільності та напрямків модернізації маневрових тепловозів Львівської залізниці гібридною енергосиловою установкою, обґрунтування вимог до потужності дизеля маневрового тепловоза для використання на таких тепловозах.

Представлення основного матеріалу дослідження

На сьогодні інвентарний парк маневрових тепловозів Львівської залізниці складають тепловози серії ЧМЭ3. Відсоток маневрових тепловозів, які вже вичерпали свій ресурс становить майже 82% [15].

Стан парку маневрових тепловозів Львівської залізниці на 2012 рік наведений на рис. 6.

Експлуатація рухомого складу за межами призначеного терміну служби негативно впливає на технічний стан локомотивів, як показує практика, при старінні ТРС питомі трудозатрати на його утримання в працездатному стані збільшуються. З урахуванням цього передбачене підвищення нормативної трудомісткості ТО та ПР на 15–25 % після 8–10 років експлуатації [К].

Рис. 6 – Стан парку маневрових тепловозів Львівської залізниці на 2012 рік

Зазначена проблема ускладнюється недотриманням строків виконання капітальних та поточних ремонтів, що призводить до додаткового зниження показників надійності рухомого складу. Розподіл відмов тепловозів за основними вузлами наведено в [15].

Значну кількість відмов маневрових тепловозів (до 40% відмов локомотива) становлять відмови дизель-генераторних установок, що підтверджує тезу про першочергову необхідність модернізації енергетичної установки тепловозів.

Таблиця 2.

Фрагмент бази даних з розподілу часу роботи по позиціях для маневрових тепловозів ЧМЭ3 (робота на гірці та у моторвагонному депо)

№ позиції к.м	Час роботи (год.:хв.:с)			Робота (кВт•год)			Витрати палива (кг)			Середня потужність (кВт)			Відносний час (%)			Відносна витрата палива (%)			Відносна робота робота (%)		
Локомотиви №2902, 4191 (гіркова робота) та 5289 (робота у моторвагонному депо)																					
	2902	**4191**	**5289**	**2902**	**4191**	**5289**	**2902**	**4191**	**5289**	**2902**	**4191**	**5289**	**2902**	**4191**	**5289**	**2902**	**4191**	**5289**	**2902**	**4191**	**5289**
0	693:33:36	1017:35:14	758:46:17	62.65	101.16	69.78	6242.04	9158.29	7533.26	0.09	0.10	0.09	56.28	62.16	62.37	38.01	43.62	59.21	0.17	0.24	0.40
1	209:52:40	263:40:10	314:26:08	4039.55	5792.01	4938.09	1240.80	1767.97	1513.92	19.25	21.97	15.70	17.03	16.11	25.85	7.56	8.42	11.90	11.25	13.96	28.66
2	211:18:32	224:50:42	87:21:52	12736.91	17583.50	6626.15	3835.30	5214.78	1957.08	60.28	78.20	75.84	17.15	13.73	7.18	23.35	24.84	15.38	35.48	42.38	38.46
3	71:58:48	72:32:16	22:03:21	8198.28	9215.28	2419.74	2190.02	2452.68	648.61	113.90	127.04	109.71	5.84	4.43	1.81	13.34	11.68	5.10	22.84	22.21	14.04
4	30:03:19	30:59:25	13:22:33	6175.62	4865.72	2805.62	1698.68	1365.40	770.42	205.48	157.01	209.75	2.44	1.89	1.10	10.34	6.50	6.06	17.20	11.73	16.28
5	11:00:11	16:52:03	1:05:12	3940.15	3094.48	269.45	983.40	782.63	68.68	358.10	183.46	247.99	0.89	1.03	0.09	5.99	3.73	0.54	10.98	7.46	1.56
6	1:13:21	4:31:07	0:12:57	569.69	616.90	74.02	152.90	170.04	20.58	466.02	136.52	343.04	0.10	0.28	0.02	0.93	0.81	0.16	1.59	1.49	0.43
7	0:06:49	0:43:37	0:03:51	45.24	223.16	27.83	12.41	60.65	7.57	398.18	307.02	433.53	0.01	0.04	0.01	0.08	0.29	0.06	0.13	0.54	0.16
8	0:25:11	3:16:51	0:00:08	132.71	0.00	0.00	37.36	0.00	0.00	316.20	0.00	0.00	0.03	0.20	0.00	0.23	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00
2x	0:53:00	1:11:39	6:31:10	0.00	0.00	0.00	8.83	11.94	65.19	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.54	0.05	0.06	0.51	0.00	0.00	0.00
3x	0:40:23	0:21:14	7:21:03	0.00	0.00	0.03	7.07	3.72	77.17	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.60	0.04	0.02	0.61	0.00	0.00	0.00
4x	0:34:45	0:16:32	4:03:42	0.00	0.00	0.06	6.37	3.03	44.67	0.00	0.00	0.01	0.05	0.02	0.33	0.04	0.01	0.35	0.00	0.00	0.00
5x	0:12:06	0:13:19	1:06:39	0.00	0.00	0.04	2.32	2.55	12.77	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.09	0.01	0.01	0.10	0.00	0.00	0.00
6x	0:10:18	0:00:57	0:09:44	0.00	0.00	0.00	2.06	0.19	1.95	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
7x	0:07:22	0:00:22	0:00:19	0.00	0.00	0.01	1.53	0.08	0.06	0.00	0.00	1.34	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8x	0:06:32	0:00:24	0:00:22	0.00	0.00	0.00	1.39	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблиця 3.

Фрагмент бази даних з розподілу часу роботи по позиціях для маневрових тепловозів серії ЧМЭ3 (робота на пасажирській станції)

№ позиції к.м	Час роботи (год.:хв.:с)			Робота (кВт•год)			Витрати палива (кг)			Середня потужність (кВт)			Відносний час (%)			Відносна витрата палива (%)			Відносна робота робота (%)		
Локомотиви № 6105, 4452 та 1325 (пасажирська станція)																					
	6105	**4452**	**1325**	**6105**	**4452**	**1325**	**6105**	**4452**	**1325**	**6105**	**4452**	**1325**	**6105**	**4452**	**1325**	**6105**	**4452**	**1325**	**6105**	**4452**	**1325**
0	506:17:04	626:30:21	615:44:15	20.55	51.20	32.42	4556.56	5638.55	6112.57	0.04	0.08	0.05	60.15	49.07	65.06	50.90	42.32	51.50	0.17	0.24	0.16
1	77:56:48	320:08:05	100:46:23	693.86	3905.70	1550.33	215.92	1210.31	477.94	8.90	12.20	15.38	9.26	25.07	10.65	2.41	9.08	4.03	5.81	18.19	7.64
2	99:41:46	208:48:23	119:45:33	1876.76	11206.83	4944.82	587.48	3390.56	1515.46	18.82	53.67	41.29	11.85	16.35	12.65	6.56	25.45	12.77	15.70	52.18	24.37
3	76:05:01	33:55:49	78:50:06	4244.65	4330.34	7922.42	1197.32	1142.90	2144.17	55.79	127.62	100.49	9.04	2.66	8.33	13.37	8.58	18.07	35.52	20.16	39.05
4	30:29:05	6:52:36	20:15:28	2555.95	1761.87	3681.45	754.90	477.82	1017.01	83.84	256.21	181.73	3.62	0.54	2.14	8.43	3.59	8.57	21.39	8.20	18.15
5	0.553472	0:26:41	5:38:32	1789.30	137.62	1394.61	488.70	34.53	351.19	134.70	309.48	247.18	1.58	0.03	0.60	5.46	0.26	2.96	14.97	0.64	6.87
6	3:02:55	0:07:28	1:49:22	457.81	30.64	437.30	149.76	8.77	128.86	150.17	246.47	239.92	0.36	0.01	0.19	1.67	0.07	1.09	3.83	0.14	2.16
7	0:55:02	0:08:26	0:47:26	206.10	18.81	302.97	63.16	5.64	86.43	224.72	133.77	383.28	0.11	0.01	0.08	0.71	0.04	0.73	1.72	0.09	1.49
8	0:56:41	1:34:29	0:03:01	101.12	26.01	20.55	32.85	15.30	6.72	107.03	16.52	409.13	0.11	0.12	0.01	0.37	0.11	0.06	0.85	0.12	0.10
2x	0:53:00	45:40:50	1:44:44	0.00	4.13	0.00	8.83	545.72	17.46	0.00	0.09	0.00	0.07	3.58	0.18	0.05	4.10	0.15	0.00	0.02	0.00
3x	0:40:23	13:27:11	0:31:48	0.00	2.68	0.00	7.07	628.03	5.57	0.00	0.20	0.00	0.05	1.05	0.06	0.04	4.71	0.05	0.00	0.01	0.00
4x	0:34:45	14:35:51	0:13:32	0.00	0.37	0.00	6.37	216.91	2.48	0.00	0.03	0.00	0.05	1.14	0.02	0.04	1.63	0.02	0.00	0.00	0.00
5x	0:12:06	0.18125	0:10:51	0.00	0.02	0.00	2.32	8.85	2.08	0.00	0.00	0.00	0.02	0.34	0.02	0.01	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
6x	0:10:18	0.007639	0:00:29	0.00	0.00	0.00	2.06	0.41	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7x	0:07:22	0:01:06	0:00:48	0.00	0.00	0.00	1.53	0.17	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8x	0:06:32	0:01:16	0:00:01	0.00	0.00	0.00	1.39	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Коректна постановка задачі вибору основних характеристик складових гібридної енергосилової установки потребує застосування статистичного аналізу даних щодо розподілу часу роботи, реалізованої потужності тепловозів та витрат палива в експлуатації. Експлуатаційні цикли конкретних тепловозів, що працюють в різних умовах, відрізняються, тому при аналізі умов роботи тепловозів одного типу та призначення необхідно користуватись узагальненими циклами, отриманими шляхом осереднення даних, отриманих у ході дослідження кількох маневрових тепловозів.

Таке усереднення було проведено з використанням попередньо сформованої, із застосуванням даних бортових реєстраторів, бази даних, фрагменти якої представлено в табл. 2, 3.

Статистичні дані оброблялись за допомогою програмного комплексу «Х7» для маневрових тепловозів за період з вересня 2012 р. по липень 2013 р.

Результати цього аналізу наведені у табл. 4.

Аналіз потужності маневрових тепловозів, які експлуатуються на Львівській залізниці показав, що середня робоча потужність тепловозів значно відрізняється від номінальної, також необхідно зазначити, що маневрові тепловози значну частину часу працюють у перехідних режимах та в очікуванні роботи (холостий хід).

Результати статистичного аналізу дозволяють визначити граничні межі величин реалізованих потужностей з урахуванням тривалості їх реалізації для кожної групи маневрових тепловозів.

Для визначення потужності дизеля, який повинен бути встановлений на модернізований маневровий тепловоз, та ємності накопичувача енергії необхідно, використовуючи принцип забезпечення оптимального функціонування системи [16], розглядати верхні межі діапазону реалізованої потужності, які являють собою суми усередненого значення потужності та середнього квадратичного відхилення (рис 7).

Таблиця 4.

Статистичні характеристики робочих потужностей для окремих груп маневрових тепловозів

№ групи за умовами експлуатації	1	2	3	4	5	6
Середнє	242,2	126,4	98,0	144,5	202,3	179,4
Максимум	466,0	307,0	224,7	309,5	409,1	433,5
Дисперсія	27706,4	9446.4	5199,8	13232,5	21516,2	24507,0
Середньо-квадратичне відхилення	166,5	97,2	72,1	115,0	146,7	156,5
Стандартна похибка відхилення	58,8	34,4	25,5	40,7	51,9	55,3
Асиметрія	-0,0942	0,5886	0,4804	0,2227	0,1901	0,4723
Ексцес	-1,7063	0,6917	-0,1746	-1,6740	-1,2642	-1,0171

Рис. 7 – Визначення діапазону потужності м одернізованого маневрового тепловоза

Дані результати загалом корелюють з висновками щодо необхідного співвідношення потужності дизеля та ємності накопичувача енергії для маневрового тепловоза [13].

Для маневрових тепловозів модернізованих гібридною енергосиловою установкою в розглянутих умовах достатньо забезпечити потужність дизель-генератора в діапазоні 165-290 кВт, з покриттям пікових навантажень за рахунок накопичувачів енергії.

Висновки

1. Проведений аналіз вікового стану маневрових тепловозів Львівської залізниці показав, що проблема старіння рухомого складу є актуальною, потребує термінованого вирішення за рахунок проведення глибокої модернізації та встановлення гібридної енергосилової установки.

2. Аналіз даних бортових реєстраторів показав, що маневрові тепловози в основному працюють у перехідних режимах та досить довгий час проводять в очікуванні роботи (приблизно 60%), а робочі потужності значно відрізняються від номінальної.

3. Перспективний маневровий тепловоз можна створити при модернізації маневрового тепловоза ЧМЭ3 з заміною штатної енергетичної установки на гібридну, з дизелем меншої потужності та накопичувачем електроенергії.

4. Враховуючи результати статистичного аналізу для маневрових тепловозів Львівської залізниці, за умовами роботи, необхідна робоча потужність пропонованого тепловоза повинна бути в діапазоні 165-290 кВт. Пікові значення за межами цього діапазону потужності пропонується покрити за рахунок накопичувачів енергії.

5. В подальшому необхідно уточнити тип дизеля, накопичувача та їх технічні характеристики. Розрахувати вартість життєвого циклу та експлуатаційні характеристики модернізованого тепловоза з метою його експлуатації, як в межах Львівської залізниці, так і УЗ в цілому.

Література

1. Комплексна програма оновлення рухомого складу України на 2008-2020рр. / В.М. Самсонкін [та ін].

2. Фалендыш А.П. Оценка технического уровня маневровых тепловозов с гибридной передачей / А.П. Фалендыш, Н.В. Володарец //Вісник Східноукр. нац. ун. ім. В. Даля. – 2010. – №5 (147). – С. 134-141.

3. Konarzewski Marcin. Hybrid locomotivies overview of construction solutions / Marcin Konarzewski, Tadeusz Niezgoda, Michaá Stankiewic, Piotr Szurgott // Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20. – 2013. – №1.– p.124-134.

4. Барский В.А. Анализ эффективности применения гибридных тяговых передач на маневровых тепловозах / В.А. Барский, В.А. Іванов, А.Е. Фришман, Г.И. Яровой // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. Тематический выпуск: «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 328-329.

5. Варакин А.И. Маневровый и универсальный локомотив с гибридной силовой установкой и накопителем энергии на базе электрохимических конденсаторов / А.И. Варакин, И.Н. Варакин, В.В. Менухо // Наука и техника транспорта. – №12. – 2007. – С. 34-40.

6. Wolfs Peter. 2005. Energy Storage Options for Hybrid Diesel Electric Shunting Locomotives, in Negnvitsky, M. (ed), Australasian Universities Power Engineering Conference AUPEC 2005, Sep 25 2005, pp. S123-S123. Hobart, Tasmania: University of Tasmania.

7. Сергієнко М.І. Вибір характеристики керування гібридною енергетичною установкою перспективного маневрового тепловоза / М.І. Сергієнко, О.І. Гончаров, В.І. Пелепейченко та ін. // Вісник Східноукр. нац., ун-ту ім. В. Даля. – 2011. – №4 (158). – С. 122-132.

8. Фалендыш А.П. Использование гибридных передач на маневровых тепловозах / А.П. Фалендыш, Н.В. Володарец // Локомотив информ. – 2010. – Декабрь. – С. 4-7.

9. Tadashi Soeda. Electrical Equipments used in diesel hybrid shunting locomotive HD300/ Soeda Tadashi, Lin Min, Hasebe Toshio, Ujiie Akihiko.// Railway Research. May 22-26 -2011.

10. Сергеев В.Л. Знакомьтесь: маневровый аккумуляторный локомотив ЛАМ-01. / В.Л. Сергеев, И.А. Шаркин. // Локомотив. – 2003.– №10. – с. 39

11. Donnelly F.W. Hybrid technology for the rail industry / F.W. Donnelly, R.L. Cousineau, R. Nigel, M. Horsley // ASME/IEEE Joint Rail Conference. April 6-8, 2004, Baltimore, Maryland USA.

12. Jeunesse Alain. A Hybrid Locomotive for Demonstration and Investigation on Energetics / Alain Jeunesse, Marina Thiounn // SNCF, Paris, France, 2006.

13. Сергієнко М.І. Оцінка ефективності можливих варіантів модернізації енергетичної установки маневрового тепловоза ЧМЭ3 / М.І Сергієнко., О.М.Гончаров, В.І.Пелепейченко, Д.О.Гордієнко // Залізнич. транспорт України. – 2011. – №6. – С. 35-38.

14. Сергієнко М.І. Прогнозування ресурсу дизелів перспективних енергетичних установок для маневрового тепловоза ЧМЭ3 / М.І. Сергієнко, О.М. Гончаров, В.І. Пелепейченко, С.Д. Мокроусов // Залізнич. транспорт України. – 2012. – №6.

15. Аналіз стану безпеки руху на Львівській залізниці за підсумками 2012 року. – Львів: ПАІС, 2013. –120 с.

16. Самсонкин В.Н. Метод статистической закономерности в управлении безопасностью движения на железнодорожном транспорте / В.Н. Самсонкин, В.А. Друзь. // – Д.:ДонИЖТ. – 2005. –160 с.