

УДК (621.226:629.424)

ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА ТРС ЗАЛІЗНИЦЬ З ГІДРОПЕРЕДАЧЕЮ

Д-р техн. наук Е. Д. Тартаковський, аспір. О. Д. Жалкін

ГИБРИДНАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА ТПС ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С ГИДРОПЕРЕДАЧЕЙ

Д-р техн. наук Э. Д. Тартаковский, аспир. А. Д. Жалкин

HYBRID POWER-PLANT FOR RAILWAY TRANSPORT WITH A HYDRAULIC TRANSMISSION

Doct. of technical sciences E. D. Tartakovskiy, graduate student O. D. Zhalkin

В статті розглянуто особливості режимів експлуатації тягового рухомого складу (ТРС) залізниць, який обладнано гідропередачею потужності (маневрові тепловози, дизель-поїзди, рейкові автобуси). Не зважаючи на ряд переваг гідропередачі в порівнянні з електричною передачею потужності, силова дизель-гідравлічна установка має такі самі недоліки при експлуатації – значна частина часу роботи на неекономічних та неекологічних режимах. З ціллю скорочення таких режимів роботи ТРС, запропонована гібридна (комплексна) силова установка (ГСУ) у вигляді гідроакумулятора енергії.

Ключові слова: тепловоз, дизель-поїзд, гідропередача, гідротрансформатор, дизель, паливо, олива, відпрацьовані гази, гідроакумулятор.

В статье рассмотрены особенности режимов эксплуатации тягового подвижного состава (ТПС) железных дорог, который оборудован гидропередачей мощности (маневровые тепловозы, дизель-поезда, рельсовые автобусы). Не смотря на ряд преимуществ гидропередачи по сравнению с электрической передачей мощности, силовая дизель-гидравлическая установка имеет такие же недостатки при эксплуатации – значительная часть времени работы на неэкономичных и неэкологических режимах. С целью сокращения таких режимов работы ТПС, предложена гибридная (комплексная) силовая установка (ГСУ) в виде гидроаккумулятора энергии.

Ключевые слова: тепловоз, дизель-поезд, гидропередача, гидротрансформатор, дизель, топливо, масло, отработаны газы, гидроаккумулятор.

The article considers the features of rolling stock operating modes, which equipped with hydraulic transmission (shunting locomotives, diesel trains and rail buses). Despite the many advantages of hydraulic transmission compared with the electric power transmission diesel-hydraulic power system has the same shortcomings during operations - a significant portion of operating time on inefficient and non-environmental conditions. In order to reduce such operation modes of rolling stock, proposed a hybrid (integrated) power plant in the form of hydraulic energy accumulator.

Keywords: diesel locomotive, diesel train, hydraulic transmission, torque converter, diesel, fuel, diesel engine oil, exhaust gases, hydraulic accumulator.

Вступ. Дослідження відносяться до галузі транспортного машинобудування зокрема до галузі енергетики та енергоефективності й спрямовані на вирішення важливої науково-практичної проблеми зменшення витрат палива та шкідливих викидів на номінальних режимах роботи ТРС залізниць, який обладнано гідропередачею потужності (маневрові тепловози, дизель-поїзди, рейкові автобуси).

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими

науковими та практичними завданнями. Витрати на протязі життєвого циклу ТРС залізниць складаються з двох основних витрат: експлуатаційних (не менш 74 % від загальної сумарної вартості життєвого циклу) та ремонтних (біля 15 %), [1]. У складі експлуатаційних витрат ключову позицію утримує витрата палива та оливи, тому науково-дослідні та конструкторські роботи спрямовані на зменшення цих витрат за рахунок розробки економічних дизельних двигунів, удосконалення методів

експлуатації. Зменшення шкоди навколишньому середовищу від викидів забруднюючих речовин (відпрацьованих газів, палива, оливи та інше), особливо при пересуванні дизель-поїздів та рейкових автобусів на територіях великих міст, під час роботи маневрових тепловозів в закритих приміщеннях (промислових цехах, логістичних центрах тощо) є обов'язковою умовою, [2].

Велике удосконалення двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) на номінальних режимах втрачає свій сенс особливістю експлуатації дизель-поїздів та маневрових тепловозів, яка призводить до низького коефіцієнту використання потужності (у межах 0,16-0,26) та середньо-експлуатаційного коефіцієнта корисної дії (ККД).

Аналіз умов роботи маневрових тепловозів промислового транспорту, які обладнані гідропередачею, показав, що більшу частину часу дизель-гідролічна установка працює на неусталених режимах у процесі рушіння з міста (11 %), розгону (42 %), вибігу (20 %) та гальмуванні (27 %), [3, 4]. Це викликано тим, що за 1 годину роботи кількість переходів з одного на другий гідротрансформатор (ГТР) може досягати 80 разів, а по часу вони розтягнуті до 20-30с, що призведе до значного зниження сили тяги (до 80 %) тому, що гідропередача працює на незаповненому робочою рідиною (оливою) ГТР. При цьому робота промислових тепловозів виконується на низьких позиціях контролера машиніста (1-4 п.к.), а діапазон швидкостей в середньому складає 4,5-6,0 км/год., час холостого ходу до 78 % від загального часу роботи тепловоза. Кількість наповнень та спорожнень гідроапаратів передачі досягає до 150 разів за годину, кількість реверсувань за 1 годину роботи складає до 15 разів на маневрах, [4]. У зв'язку з невеликими швидкостями руху більшу частину часу тепловози промтранспорту працюють на пусковому ГТР, що дозволяє їм працювати у «повзучому» режимі з реалізацією потужності у 20-50% від номінальної, що відповідає неекономічним та неекологічним режимами роботи двигуна – найвищим питомим витратам палива, які викликані нестабільною роботою паливної апаратури та агрегатів наддування, низькою якістю робочого процесу, особливо на неусталених режимах, підвищеною токсичністю відпрацьованих газів, [2].

У приміському перевезенні пасажирів на неелектрифікованих дільницях залізниць застосовується спеціалізований рухомих склад – дизель-поїзди с тепловозною тягою та дизельний моторвагонний рухомий склад (дизель-поїзди, рейкові автобуси). Особливістю експлуатації дизель-поїздів та рейкових автобусів у приміському русі є наявність частих зупинок (відстань між зупинками складає від 3 до 10 км), що викликає значний час роботи двигуна на холостому ході, малої (не номінальної) потужності, на неусталених режимах, тобто режими експлуатації дизель-поїздів та маневрових тепловозів зі гідропередачею сходні, [5, 6]. У той же час дизель-поїзди та рейкові автобуси значну частину часу знаходяться в містах та передмісті де на вокзалах завжди є компактне скупчення пасажирів, тому потрібні заходи по зменшенню задимленості таких територій та шумового навантаження на населення. Все це вказує на необхідність розробки силових установок, які мають підвищену економічність та екологічність для ТРС залізниць, що виконує маневрову роботу та приміські перевезення пасажирів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для підвищення економічності та зменшення впливу відпрацьованих газів (ВГ) на навколишнє середовище та населення розробленні гібридні та комбіновані силові установки (ГСУ) у вигляді комбінації декількох двигунів, що працюють на різних фізичних принципах (застосування накопичувачів енергії, робочого тіла у вигляді повітря, пари, рідини і т.п.).

Найбільше застосування ГСУ мають на автомобільному транспорті де накопичувачі енергії складаються з акумуляторних батарей, електрохімічних конденсаторів, використовується альтернативне паливо. Силова установка гібридного автомобіля, як правило, включає до себе крім основного двигуна допоміжний двигун та контур рекуперації енергії, при чому основний та допоміжний двигуни мають енергію від джерел різних типів. При великій кількості комбінацій агрегатів для акумулювання та перетворення енергії на автотранспорті найбільше застосування мають ГСУ, які мають ДВЗ в якості основного двигуна (первинний перетворювач енергії) та допоміжний привід на базі електропривода й електрохімічного накопичувача енергії (наприклад,

акумуляторної батареї (АБ). Крім того, такі системи можуть бути інерційними (маховик та механічна трансмісія), пневматичними (пневмодвигун та балони з стиснутим повітрям), гідравлічними (гідромотор-насос). Об'єднання ДВЗ й електродвигуна дозволяє одержати зниження витрат палива та викидів токсичних речовин в атмосферу, але акумуляторна батарея має малий термін експлуатації та, що особливо важливо, складну коштовну утилізацію. Крім того, АБ має обмеження по швидкості заряду-розряду, а конденсатори мають значні втрати на саморозряд та недостатню ємкість.

На залізничному транспорті ГСУ застосовуються з накопичувачами енергії, які складаються з акумуляторних батарей, електрохімічних конденсаторів (компанії «Alstom», «GE», «Hitachi», Брянський машинобудівний завод РФ та інші), а також двох, трьох й навіть чотирьох дизельних двигунів, газодизелів, [8,9]. В Україні серійно виготовляються комбіновані тягові агрегати (дизель-електровози) з електричною передачею потужності, які застосовуються в кар'єрах металургійних комплексів.

Автономний ТРС залізниць, на якому застосовано ГСУ, має електричну передачу потужності, тому, як правило, на тепловозах застосовують накопичувачі електроенергії та тягові АБ.

Особливості дизель-поїздів та маневрових тепловозів не великої потужності промислового транспорту полягають в тому, що крутний момент від первинного двигуна (ДВЗ) до рушійних колісних пар передається гідропередачею, робочою рідиною якої є олива, [10, 11]. Тому відомі діючі ГСУ автомобілів та тепловозів з електропередачею потужності з накопичувачами електроенергії не можливо застосувати на дизель-поїздах та тепловозах з гідравлічною передачею потужності.

Визначення мети та задачі дослідження. Актуальність проблеми визначається у зменшенні витрати палива та шкідливих викидів ТРС залізниць, які обладнані гідравлічними передачами потужності (маневрові тепловози, дизель-поїзди та рейкові автобуси), за рахунок скорочення часу роботи на малих (не номінальних) навантаженнях та холостому ході.

Ціль дослідження – сформулювати вимоги та запропонувати конструктивне рішення гібридної (комбінованої) силової

установки ТРС залізниць з гідравлічною передачею потужності.

Основна частина дослідження. Одним з перспективних напрямків модернізації дизель-поїздів та маневрових тепловозів, обладнаних гідропередачею потужності, є застосування ГСУ з гідравлічними акумуляторами, енергією яких є стиснута робоча рідина (олива). Обидва види енергії – ДВЗ (основне джерело) й гідроакумулятор (друге джерело) – призначені для забезпечення гідроапаратів гідропередачі стиснутою оливою, при чому друге джерело енергії використовується замість режимів роботи ДВЗ з низькою паливною економічністю та високою токсичністю відпрацьованих газів (холостий хід, малі навантаження, неусталені процеси). В результаті є можливість знизити витрату вуглеводневого палива, шкідливий вплив відпрацьованих газів та шумове навантаження на навколишнє середовище.

На рисунку 1 у вигляді блочної схеми представлена пропонуєма ГСУ ТРС, яка має гідравлічну передачу потужності.

Керування роботою елементів ГСУ здійснюється в такій послідовності. При наближенні дизель-поїзда до зупинки (вокзалу або пункту зупинки) машиніст на певній відстані (наприклад у 1 км) вимикає двигун 5, який був тяговим й забезпечував рух дизель-поїзда, й додатковим контактом контролера машиніста 12 надає сигнал електронному блоку керування 13, який надає команду електронному регулятору тиску 9 на подачу стиснутої оливи через обмежник пропускної здатності 14 до пускового ГТР1, який підтримує рух дизель-поїзда до зупинки, наприклад, від дії штатної гальмівної системи. Одночасно при зниженні тиску у резервуарі 10 електронний датчик тиску 11 надає сигнал електронному блоку керування 13 який надає команду електромагнітному зворотному клапану високого тиску 8 на пропуск стиснутої оливи від додаткового насоса 4 у резервуар зі стиснутою оливою 10 до досягнення тиску певної величини, який достатній для створення крутного моменту та передачі його на рушійні колісні пари, після чого клапан 8 зачиняється, а додатковий насос переходить у режим холостого ходу. При зупинці дизель-поїзда гідропередача 3 вимикається і за сигналом її датчика електронний блок керування 13 через електронний регулятор тиску 9 зупиняє

подачу стиснутої оливи, що зупиняє роботу ГТР1.

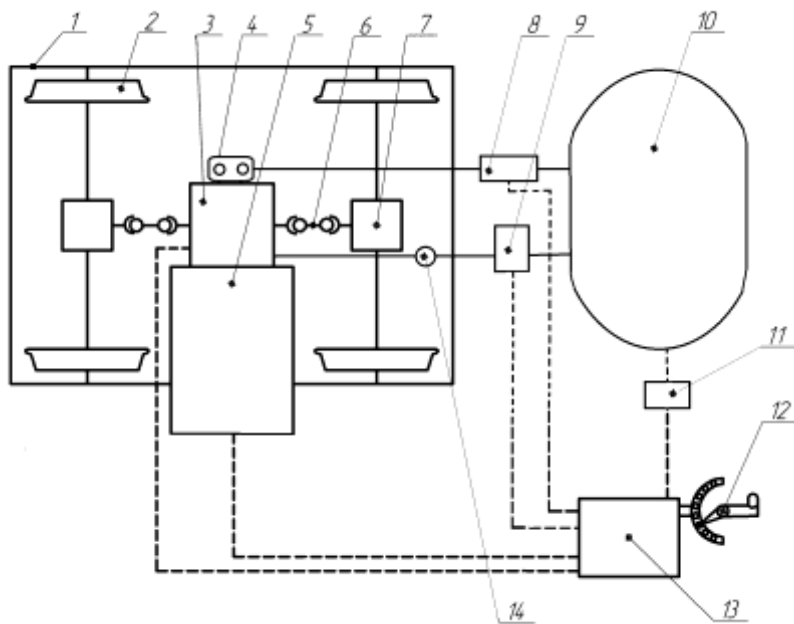


Рис.1. Гібридна силова установка ТРС зі гідропередачею потужності:

1 – рама візка, 2 – рушійна колісна пара, 3 – гідропередача, 4 – додатковий оливний насос, 5 – ДВЗ, 6 – карданний вал, 7 – вісьовий редуктор, 8 – електромагнітний зворотний клапан високого тиску, 9 - електронний регулятор тиску, 10 – резервуар стиснутої оливи, 11 - датчик тиску, 12 - контролер машиніста, 13 - електронний блок керування, 14 – обмежник пропускної здатності.

Початок руху дизель-поїзда після стоянки здійснюється також по сигналу контролера машиніста 12 електронному блоку керування 13 і дія гідроаккумулятора повторюється, як це було до зупинки, з тією різницею, що ГТР1 виконує тепер своє основне призначення - як пусковий при зрушенні дизель-поїзда з місця і подальшого руху до певної позиції контролера машиніста. Після віддалення від стоянки (наприклад, вокзалу) на певну відстань (наприклад у 1 км) машиніст включає ДВЗ 5 і установлює позицію контролера машиніста 12, яка відповідає швидкості руху дизель-поїзда (за показниками штатного швидкостеміра). Одночасно електронний блок керування 13 за сигналом датчиків гідропередачі 3 та ДВЗ 5 зупиняє роботу електронного регулятора тиску 9 (стиснута олива із резервуара 10 не подається до гідропередачі), а робота додаткового насоса 4 буде продовжуватися до досягнення у резервуарі 10 певного тиску що контролюється датчиком тиску 11. За його сигналом електронний блок керування зупиняє роботу електромагнітного зворотного клапана високого тиску 8, що переведе роботу додаткового насоса 4 у режим холостого ходу й подача стиснутої

оливи у резервуар 10 зупиняється. Запас стиснутої оливи у резервуарі гідроаккумулятора поповнюється додатковим насосом в процесі пересування дизель-поїзда (тепловоза).

Для зберігання запасу оливи можуть застосовуватися балонні акумулятори, при виготовленні яких в останні роки досягнута добра герметичність і тривалий термін експлуатації. Балонні акумулятори можуть встановлюватися вертикально або горизонтально.

Для визначення та вибору підходящої місткості акумулятора (рисунок 2) необхідно, щоб він був здатний забезпечити подачу необхідного обсягу робочої рідини ΔV або мати енергію Q для забезпечення роботи гідроприводу. При розрахунку враховують максимальний робочий тиск, максимальну і мінімальну робочу температуру, допустимий перепад тисків.

$$\Delta V = V_0 \left[\left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} \right]; \quad (1)$$

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}}, \quad (2)$$

де P_0, P_1, P_2 - відповідно тиск заряду, мінімальний робочий тиск, максимальний робочий тиск (до 35 МПа);

$V_0, \Delta V$ - робочий та корисний об'єми акумулятора;

n - показник політропи.

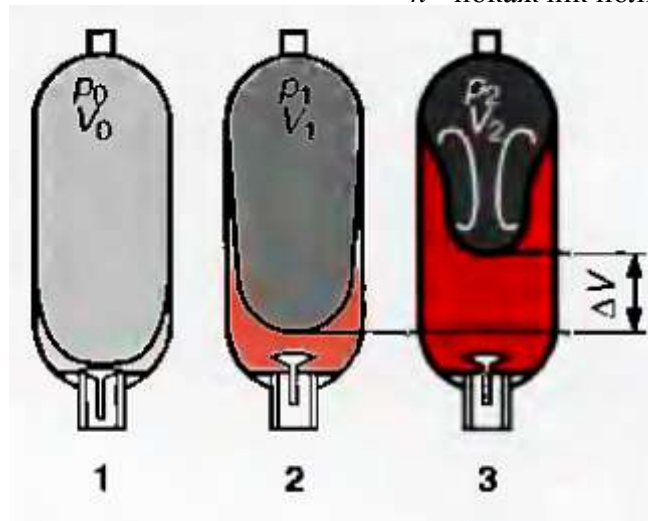


Рис.2. Схема балонного акумулятора

Тиск зарядки вибирається в діапазоні 0,7 ... 0,9 від мінімального робочого тиску (при максимальній температурі експлуатації).

$$P_0 \leq 0,9P_1. \quad (3)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Застосування гідроакумулятора, який забезпечує рухання дизель-поїзда при непрацюючому ДВЗ, надає можливість виключити роботу ДВЗ на режимах з низькою паливною економічністю та високою токсичністю відпрацьованих газів, що дозволяє знизити витрату дизельного палива, шкідливий вплив цих газів та шумове навантаження на навколишнє середовище, особливо на територіях залізничних вокзалів та великих міст.

Економічна та екологічна ефективність при застосуванні запропонованої ГСУ на маневрових

тепловозах, які мають гідропередачу потужності, аналогічна, крім того відсутні витрати на вентиляцію закритих приміщень від задимленості та зменшується шумове навантаження.

Таким чином рух дизель-поїзда та маневрового тепловоза з гідропередачею та ГСУ, забезпечується двома видами енергії, однією з яких є дизельне паливо, а другою стиснута до високого тиску олива, яка подається до гідропередачі з гідроакумулятора при непрацюючому ДВЗ.

Перспектива подальших досліджень полягає у тому, щоб застосувати гідроакумулятор ГСУ для корегування руху дизель-поїзда (тепловоза) при переході гідротрансформаторів на інші режими роботи (з пускового на маршовий ГТР і обернено), що дасть змогу усунути неусталені процеси дизель-гидравлічної силової установки (усунути «щаблинки» тягової характеристики).

Список використаних джерел

1. Тартаковський Э. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: Монография [Текст] / Э.Д.Тартаковський, С.Г.Грищенко, Ю.Е.Калабухин, А.П.Фалендыш. – Луганск: Изд. Коулидж: 2011. – 174с.
2. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згорання [Текст]: серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологізація ДВЗ / А.П.Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – 360с.

3. Зюбанов В.З. Анализ состояния парка маневровых и промышленных тепловозов [Текст] / В.З. Зюбанов, В.С. Дубровин. Тр.МИИТ, вып. 1995. с. 22-23.
4. Гудков А.В. Влияние времени заполнения пускового гидротрансформатора на экономичность тепловозов с гидропередачами в режимах трогания и разгона [Текст] / А.В. Гудков. Труды ВНИТИ, вып.32, Коломна, 1968, с. 86-102.
5. Басов Г.Г. Прогнозування розвитку дизель-поїздів для залізниць України [Текст] / Г.Г. Басов. – Харків: Алекс+, 2004. -240с.
6. Михайленко А.А. Дизель-поезда типа ДР [Текст] / А.А. Михайленко М.: Транспорт, 1990. – 336с., ил. табл. – библиограф.: с.334.
7. Бажинов О.В. Гібридні автомобілі [Текст] / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Сериков, А.В. Гнатов, А.В. Колесников. – Харьков: Крок, 2008. – 327с.
8. Маневровый тепловоз ТЭМ9Н Sinara Hybrid с гибридной силовой установкой <http://www.sinara-group.com/about/structure/stm/LTZ/ProductionLTZ/ТЕМ9Н/>.
9. Михеев С.А., Найш Н.М. Маневровый тепловоз с энергосберегающей силовой установкой <http://dspace.snu.edu:8080/jspui/bitstream/123456789/454/22/Micheev.pdf>.
10. Овчинников В.М. Гидравлические передачи тепловозов [Текст] : учебное пособие / В.М. Овчинников, В.А. Халиманчик, В.В. Невзоров. – Гомель: Бел.ГУТ, 2006. – 155с.
11. Гавриленко Б.Л. Гидравлические передачи (проектирование, изготовление, эксплуатация) [Текст] / Б.Л. Гавриленко, И.Ф. Семичаснов. М.: Машиностроение, 1980. – 224с.

Тартаковський Едуард Давидович, доктор технічних наук, професор кафедри експлуатація та ремонт рухомого складу Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (057) 730-19-99.

Жалкін Олексій Денисович, аспірант кафедри експлуатація та ремонт рухомого складу Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (057) 730-19-99.

Tartakovskiy E.D., doct. of techn. Sciences Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-19-99.

Zhalkin O. D., graduate student Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-19-99.