

## УДК 629.4

ПУЗИР В.Г., канд. техн. наук (Український державний університет залізничного транспорту)

ОБОЗНИЙ О.М., канд. техн. наук (Український державний університет залізничного транспорту)

ЗАЛАТА А.С., аспірант (Український державний університет залізничного транспорту)

## Вплив системи охолодження на енергетичні показники тягового генератора

***Анотація.** У статті розглядаються основні варіанти реалізації систем охолодження для тягових електричних машин, зокрема примусова повітряна вентиляція, самовентиляція через вбудований вентилятор, примусове рідинне охолодження як сучасний тренд. В статті аналізується вибір системи охолодження в залежності від потужності локомотиву та наводяться приклади моделей, які використовують різні методи. Висвітлюються переваги самовентиляції, зокрема, економічність і простота системи.*

***Ключові слова:** тепловоз, тяговий генератор, система охолодження, самовентиляція.*

### Вступ.

В сучасному світі залізничний транспорт відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні транспортної доступності та господарського розвитку. Тепловози, як ключові елементи залізничного парку, забезпечують надійну та ефективну реалізацію тяги для вантажних та пасажирських поїздів.

Тягові генератори є джерелами електричної потужності для забезпечення руху поїзду та живлення бортових систем. Забезпечення нормальної експлуатації тягових генераторів вимагає ефективної системи їх охолодження, оскільки температурні режими можуть впливати на продуктивність і тривалість служби. Особливо важливо забезпечити стабільну роботу тягових генераторів у екстремальних умовах, таких як високі навантаження або перепади температури.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання ефективної експлуатації та ремонту тягових електричних машин, у тому числі і тягових генераторів розглядалося у [1]. В даній роботі основна увага приділялася розробці алгоритму для ідентифікації блока тягової електричної машини локомотива за допомогою роботизовано засобу.

Дослідження [2] враховує зміни в системі обслуговування локомотивів в Україні, включаючи реформи в роботі ремонтних підприємств та формування кластерів для обслуговування конкретних типів локомотивів, зокрема і тягових генераторів.

Основна мета – розробка віртуальної системи обслуговування та ремонту, що враховує тип локомотиву, стан ремонтних депо та оцінку рівня організації та технічного рівня ремонтного підприємства.

У [3] подано методики розрахунків основних параметрів системи охолодження тягових електричних машин. Розглянуто визначення інтенсивності виділення тепла при роботі тягового генератора та витрати повітря на його охолодження.

### Визначення мети та завдання дослідження.

Мета статті полягає в дослідженні, аналізі та порівняльному вивченні різних варіантів реалізації систем охолодження для тягових генераторів з використанням відомих наукових та інженерних підходів. Поєднуючи теоретичний аналіз з результатами експериментальних досліджень, встановлюється оптимальність кожного способу охолодження з точки зору теплових показників, ефективності та економічної доцільності.

Для досягнення мети необхідно дослідити різні варіанти систем охолодження, включаючи примусову повітряну вентиляцію, самовентиляцію та примусове рідинне охолодження та визначити переваги і недоліки кожної з них.

#### **Основна частина дослідження.**

Існує декілька основних видів реалізації систем охолодження тягових електричних машин:

- примусова повітряна вентиляція від сторонніх вентиляторів;
- самовентиляція від вбудованого на валу вентилятора;
- примусове рідинне охолодження як найбільш сучасний тренд для високо навантажених тягових електричних машин.

Найчастіше для забезпечення необхідного теплового стану в основних режимах роботи тягових електричних машин застосовують системи повітряного охолодження. При цьому вибір типу повітряної системи охолодження залежить від потужності локомотиву.

Переважає більшість локомотивного парку маневрових тепловозів та дизель-поїздів з електропередачею потужністю до 1500 к.с., що експлуатуються на промислових та залізничних підприємствах, укомплектовані дизель-генераторними установками, в яких тяговий генератор або ж агрегат обладнано вбудованим вентилятором для охолодження (тепловози ТЕМ2, ЧМЕ3, ТЕМ103, дизель-поїзд ДЕЛ-02 та ін.). Крім того, останнім часом під час модернізації маневрові тепловози з гідропередачею переводять на електропередачу (проекти модернізації ТГМ4 та ТГМ6).

Серед переваг самовентиляції для тягових електричних машин можна зазначити:

- відносну економічність через відсутність витрат енергії на привід вентиляторів для охолодження;
- відносну простоту такої системи вентиляції та економію вільного простору в розташуванні обладнання локомотиву.

Серед недоліків систем самовентиляції можна виділити наступне:

- вентилятор являє собою додатковий вузол для діагностування контролю та обслуговування під час експлуатування;
- механічний вентилятор створює додатковий шум та може стати причиною небалансу ротора електричної машини або підвищеного рівня вібрації;

- регулювання охолоджуючого повітря (потужності вентилятора) відбувається лише за рахунок зміни частоти обертання дизель-генераторної установки в конкретному діапазоні. При цьому неможливо іншими шляхами додатково зменшити або підвищити витрату охолоджуючого повітря в залежності від теплового стану електричної машини та температури навколишнього середовища;

- в залежності від конструктивного виконання отворів, решіток, каналів для забору повітря (як ззовні, так і з кузова тепловозу) можливе потрапляння всередину електричної машини вологи, бруду та пилу, що також може мати негативні наслідки і впливати на строк служби електричної машини. Це може призвести до підвищення витрат на обслуговування та обумовлює необхідність встановлення фільтрів для очищення повітря, яке потрапляє в середину тягового генератора;

- зниження ККД електричної машини за рахунок збільшення загальних механічних витрат.

Враховуючи всі аспекти, для модернізації маневрового тепловозу ТЕМ2, яку проведено ТОВ «Полтавський тепловозремонтний завод», було обрано тяговий агрегат змінного струму А735 У2 з самовентиляцією (рис. 1). Оскільки цей агрегат було розроблено для маневрового тепловозу ТЕМ28, то підприємство-виробник вже мало позитивні результати виготовлення та використання даного типу електричної машини у конструкції локомотиву.

Конструктивно агрегат включає наступні основні вузли: тяговий та допоміжний генератори, а також вентилятор охолодження, безпосередньо встановлений на валу. Під час роботи дизель-генераторної установки вентилятор, обертаючись, затягує повітря через решітку в підшипниковому щиті (з боку, протилежного вентилятору), створюючи всередині машини аеродинамічний тиск, під дією якого повітря проходить через внутрішню порожнину машини.

Допоміжний генератор забезпечує живлення власних потреб тепловозу, а також збудження тягового генератора в усьому діапазоні частоти обертання валу дизеля від режиму холостого ходу (700 об/хв) до номінальної робочої частоти обертання (1800 об/хв). При цьому регулювання потоку охолоджуючого повітря вентилятора, як було сказано вище, відбувається лише за рахунок зміни обертів дизель-генератора.



(а)



(б)

Рис. 1. Тяговий агрегат А735 У2 з дизелем Cummins QST-30 (а) та його 3D модель (б)

На нульовій позиції контролера машиніста ПК№0 (при частоті обертання 700 об/хв) працює виключно допоміжний генератор агрегату (тяговий генератор в цьому режимі не працює). Тривала потужність допоміжного генератора складає 55 кВт, при цьому вентилятор забезпечує достатнє охолодження. Під час випробувань на підприємстві-виробнику фактичні перевищення обмоток генератора в такому режимі склали:

- 30°C для обмотки статора;
- 80°C для обмотки збудження.

Така ж ситуація при роботі агрегату на першій позиції контролера машиніста ПК№1 (при тій самій частоті обертання 700 об/хв) та роботі вже двох генераторів. Оскільки потужність тягового генератора фактично складає 50 кВт, то штатний вентилятор також забезпечує достатнє охолодження всього агрегату.

Крім того, при роботі агрегату з номінальними заявленими параметрами тягового та допоміжного генератора в режимі при частоті обертання 1800 об/хв (ПК№8) перевищення температур обмоток, отримані дослідним шляхом, не перевищували максимально допустимих значень та становили:

- для тягового генератора: приблизно 135°C для обмотки статора та 120°C для обмотки ротора (для найбільш напруженого режиму);
- для допоміжного генератора: приблизно 50°C для обмотки статора та 80°C для обмотки ротора (для найбільш напруженого режиму);

Таким чином, агрегат має запас по нагріванню та строку служби ізоляції.

Однак постає питання впливу такої системи охолодження на енергетичні показники тягового агрегату, особливо для частот обертання нижче номінальної робочої. Слід зазначити, що загальні механічні втрати агрегату разом з вентилятором при частоті обертання дизель-генератора 1800 об/хв складають приблизно 16 кВт, що досить істотно впливає на фактичне значення коефіцієнта корисної дії (до 11%). При частоті обертання 700 об/хв механічні втрати агрегату становлять приблизно 2 кВт.

Виходячи з вищесказаного, актуальним є рішення можливості покращення енергетичних характеристик агрегату.

Одним з можливих варіантів вирішення цього питання є використання незалежної системи повітряного охолодження (мотор-вентилятор, що включає в себе робоче колесо та привідний електродвигун). До переваг такого рішення можна віднести:

- підтримання оптимального рівня температурного стану агрегату незалежно від частоти обертання дизель-генератора та атмосферних умов в усьому діапазоні навантаження дизель-генераторної установки.

- можливість включення системи охолодження при певній температурі обмоток агрегату в залежності від їхнього фактичного навантаження;

- можливість підвищити тривалу потужність допоміжного генератора на нижніх позиціях контролера машиніста мінімум на 15%. При цьому слід враховувати, що допоміжний генератор також має граничні умови з боку додаткового навантаження, оскільки він досить насичений у співвідношенні навантаження/габаритні розміри.

До недоліків запропонованої системи охолодження можна віднести необхідність живлення приводу вентилятора та необхідність прокладення рукавів для підведення охолоджуючого повітря, а також зміна конструкції агрегату для приєднання патрубків підводу повітря.

#### **Висновки.**

У даній науковій статті було проведено дослідження різних варіантів реалізації систем охолодження для тягових електричних машин з метою визначити їх ефективність та доцільність в різних умовах використання. Основні результати і висновки статті можуть бути узагальнені наступним чином:

Примусова повітряна вентиляція залишається одним із найпоширеніших методів охолодження для тягових електричних машин, особливо для локомотивів з невеликою потужністю. Її використання є виправданим з точки зору ефективності та вартості.

Самовентиляція за допомогою вбудованих вентиляторів є привабливим методом для машин середньої потужності. Вона дозволяє зберігати

відносно економічність і зменшує потребу в додаткових приводах.

Примусове рідинне охолодження виявляється найбільш ефективним методом для високонавантажених тягових електричних машин. Воно забезпечує ефективний відведення тепла та знижує ризик перегріву.

Економічність і ефективність системи охолодження повинні оцінюватися з урахуванням конкретних умов експлуатації та потужності машини.

Подальші дослідження передбачають вивчення можливості комбінування різних методів охолодження для досягнення оптимальних результатів.

#### Список використаних джерел

1. Puzyr V., Datsun, Y., Oboznyi O. Design of algorithm for identification of locomotive electrical machine unit during repair. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7. Issue 4. P. 157–161. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19727
2. Tartakovskiy E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. Systems Approach to the Organization of Locomotive Maintenance on Ukraine Railways. *Rail Transport - Systems Approach / Ed. A. Sladkowski*. Cham: Springer. 2017. P. 217- 239. doi: 10.1007/978-3-319-51502-1\_5.
3. Тартаковський Е.Д., Агулов А.Ф., Фалендиш А.П. Теорія та конструкція локомотивів. Ч.2. Вибір та розрахунок основних вузлів локомотивів: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. -150 с

#### INFLUENCE OF THE COOLING SYSTEM ON THE ENERGY INDEXES OF THE TRACTION GENERATOR

Dr. Sc. (Tech.) V. Puzyr, PhD (Tech.) O. Oboznyi, postgraduate student A. Zalata

**Abstract.** *This article discusses the different methods of cooling systems used for traction electric machines. Cooling is an important part of the functioning of such machines, as they can get hot during operation and need an efficient way to dissipate heat to prevent overheating and damage to the equipment.*

*The first part of the article is devoted to the types of cooling systems. It identifies three main methods: forced air ventilation, self-ventilation using built-in fans, and forced liquid cooling, which is the most modern and popular method for highly loaded traction electric machines.*

*The second part of the article discusses the choice of cooling system depending on the locomotive power. The advantages and disadvantages of each cooling method are analyzed on the example of different machine models. It is noted that most shunting diesel locomotives and diesel trains with power up to 1500 hp use air cooling systems, while new models of traction machines prefer liquid cooling.*

*The third part of the article focuses on the advantages of self-ventilation for electric traction machines. It highlights the relative cost-effectiveness of this method, as it does not require the drive of fans for cooling, and provides simplicity and space savings in the location of the locomotive equipment.*

*The overall goal of the article is to help understand the selection of the optimal cooling system for traction electric machines, taking into account their power and efficiency requirements.*

**Keywords:** *diesel locomotive, traction generator, cooling system, self-ventilation.*

Пузыр Володимир Григорович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-6096-9049. Тел.: +38 (050) 401-61-91. E-mail: puzyr.v.g@gmail.com

Обозний Олександр Миколайович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-0843-6023. Тел.: +38 (050) 303-45-59. E-mail: oboznyi@kart.edu.ua

Залата Андрій Сергійович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0003-0557-795X. Тел.: +38 (097) 710-69-81. E-mail: zalata.ac@gmail.com

Puzyr Volodymyr, Dr. Sc. (Tech.), professor, department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-6096-9049.

Tel.: +38 (050) 401-61-91. E-mail: puzyr.v.g@gmail.com  
Oboznyi Oleksandr, PhD (Tech.), senior lecturer, department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-0843-6023.

Tel.: +38 (050) 303-45-59. E-mail: oboznyi@kart.edu.ua  
Zalata Andrii, postgraduate student, department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0009-0003-0557-795X.

Tel.: +38 (097) 710-69-81. E-mail: zalata.ac@gmail.com