

Література

1. Железний В.П., Хлієва О.Я., Биковець Н.П. Робота холодильних установок // Холод. – 2004. – № 3. – С. 22-25.
2. Овчаренко В.С., Афонский В.Л. Основные аспекты комплексного подхода к расширению применения аммиачного оборудования в холодильной промышленности // Холодильная техника. – 2001. – № 7. – С. 13-15.
3. Перельштейн И.И., Парушин Е.Б. Термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин и тепловых насосов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 232 с.
4. Маляренко В.А., Варламов Г.Б., Любчик Г.Н. и др. Энергетические установки и окружающая среда. – Харьков: ХГАГХ, 2002. – 398 с.
5. Калнинь И.М., Васютин В.А., Пустовалов СБ. Условия эффективного применения диоксида углерода в качестве рабочего вещества тепловых насосов // Холодильная техника. – 2003. – № 7. – С. 8-12.

УДК 621.436; 621.57

ТУРБОДЕТАНДЕРНА СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ТА ПОВІТРЯ НА ВХОДІ ПРИВІДНОГО ДИЗЕЛЯ

Радченко А.М., канд. техн. наук, доцент
Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

Розроблена система охолодження суднового електрогенератора та повітря на вході привідного дизеля на базі турбодетандера, що використовує надлишкову кількість наддувного повітря понад необхідну для наддуву дизеля. Розраховані показники системи охолодження.

The system for cooling the marine alternator and intake air of driven diesel engine on the base of turboexpander using the surplus charge air amount exceeding the amount of air needed for scavenging diesel engine has been developed. The characteristics of cooling systems are calculated.

Ключові слова: система охолодження повітря, електрогенератор, привідний дизель, турбодетандер.

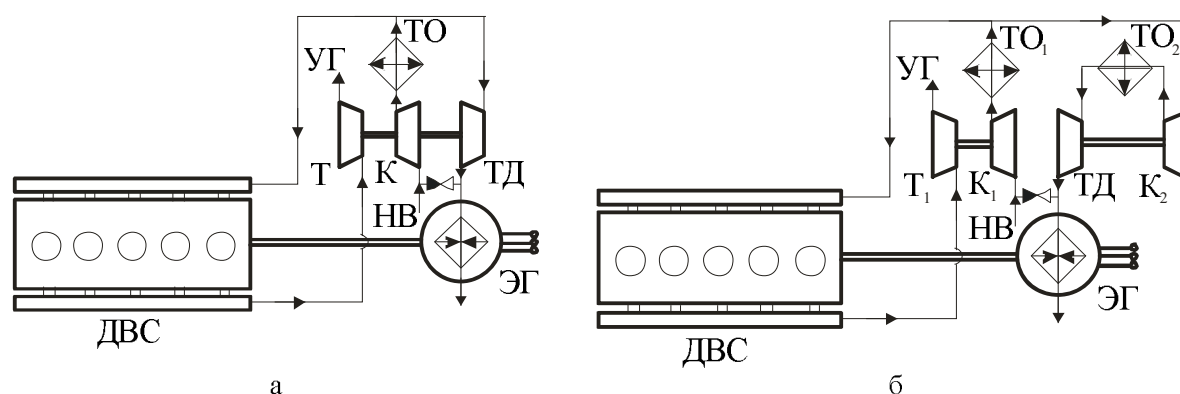
1. Аналіз проблеми та постановка мети дослідження. Ефективність виробництва електроенергії дизель-генераторами (ДГ) залежить від паливної економічності привідних двигунів (дизелів) та енергетичних витрат на охолодження електрогенераторів (ЕГ) — на циркуляцію охолоджуючого повітря, які становлять 2...3 % виробленої електроенергії [1]. Зі збільшенням температури зовнішнього повітря на вході привідних дизелів і електрогенераторів зростають питомі витрати палива ДГ і енергетичні витрати на вентиляцію ЕГ. Так, за даними фірм-розробників дизелів і дизель-генераторів із підвищенням температури зовнішнього повітря та забортної води, яку подають на охолодження наддувного повітря, на 10 °С питома витрата палива збільшується на 0,5...0,7 % [2, 3].

В той же час зі збільшенням температури повітря на вході ДГ зростає температура відхідних газів і, відповідно, енергетичні втрати з ними. Цілком логічним було б використовувати енергію відхідних газів у холодильних машинах, а вироблений ними холод застосовувати для охолодження повітря на вході привідних дизелів і ЕГ. Для цього доцільно застосовувати турбодетандерні установки (ТДУ), але необхідний принципово новий підхід, який би базувався не на підвищенні тиску турбокомпресорів (ТК), як у практиці створення наддувних ТК дизелів, що неминуче супроводжується зниженням коефіцієнта корисної дії (ККД) ТК, а навпаки — на збільшенні продуктивності ТК при максимальних ККД ТК і відповідних оптимальних значеннях тиску, що забезпечувало б скорочення споживання палива ДГ. Цю надлишкову кількість наддувного повітря (понад необхідну для подачі в циліндри привідного двигуна) можна було б використовувати як холодоагент для охолодження ЕГ і повітря на вході привідного двигуна. При цьому відпадає необхідність у вентиляторі та у відповідних енергетичних витратах на циркуляцію охолоджуючого повітря через ЕГ, які становлять 2...3 % виробленої електроенергії [1].

Метою роботи є скорочення витрат палива на виробництво електроенергії в ДГ шляхом використання скидної енергії відхідних газів у ТДУ для охолодження ЕГ і привідних двигунів.

2. Результати дослідження. Запропоновані схеми одно- та двоступінчастої ТДУ охолодження повітря на вході наддувного ТК і ЕГ із використанням енергії стисненого повітря при його розширенні в тур-

бодетандері (ТД) з отриманням механічної роботи, яку застосовують для приводу наддувного компресора (рис. 1,а) або додаткового компресора K_2 (рис. 1,б).



ЕГ – електрогенератор; ДВС – привідний двигун внутрішнього згоряння; Т – утилізаційна турбіна; ТД – турбодетандер; ТО, $ТО_1$ і $ТО_2$ – теплообмінники-водяні охолоджувачі повітря; K_1 і K_2 – основний і додатковий компресори; УГ – відхідні гази; НВ – зовнішнє повітря на вході

Рис. 1 – Схеми одноступінчастої (а) та двоступінчастої (б) ТДУ охолодження повітря на вході наддувного турбокомпресора і електрогенератора

Результати розрахунків показали, що при температурі повітря в машинному відділенні (МО) перед ТК ДГ $35\text{ }^\circ\text{C}$ (температура зовнішнього повітря $25\text{ }^\circ\text{C}$ відповідає стандартним умовам експлуатації двигунів) і $45\text{ }^\circ\text{C}$ (температура зовнішнього повітря $35\text{ }^\circ\text{C}$ для тропічних умов експлуатації), температура повітря на виході з турбодетандера може сягати мінус $50\text{ }^\circ\text{C}$ і мінус $40\text{ }^\circ\text{C}$ відповідно.

В залежності від кількості надлишкового наддувного повітря (надлишку продуктивності наддувного ТК понад кількість наддувного повітря, що подають у циліндри двигуна), яке подають у турбодетандер ТДУ, і ступені підвищення тиску ТК π_k зниження температури повітря на вході ТК двигуна Δt_b за рахунок змішування зовнішнього повітря з надлишковим повітрям, охолодженим у процесі розширення в турбодетандері, становить близько $20\text{ }^\circ\text{C}$ (при витраті надлишкового стисненого повітря через турбодетандер 20% від загальної його витрати) і майже $30\text{ }^\circ\text{C}$ при 20% -й частці.

Варто зазначити, що в запропонованих ТДУ охолодження ЕГ відпадає необхідність у вентиляторі та у відповідних енергетичних витратах на циркуляцію охолоджуючого повітря через ЕГ, які становлять $2\text{...}3\%$ виробленої електроенергії [1].

Розрахунки показали, що надлишкова кількість стисненого повітря, яке могло б застосовуватись як холодоагент для охолодження повітря на вході ТК і ЕГ, становить $40\text{...}50\%$ загальної витрати повітря через ТК в інтервалі $\pi_k = 3\text{...}4$ і температур $t_{нв} = 25\text{...}55\text{ }^\circ\text{C}$. При менших π_k і $t_{нв}$ резерви продуктивності ΔG більші, що вказує на доцільність застосування ТДУ для охолодження зовнішнього повітря на вході ТК, оскільки при цьому ТК експлуатується при оптимальних (не підвищених) π_k , які відповідають максимальним ККД ТК. До того ж зниження температури зовнішнього повітря $t_{нв}$ на вході ТК завдяки його змішуванню з повітрям, охолодженим у процесі розширення в турбодетандері, забезпечує зростання частки холодного повітря ΔG , яка подається від турбодетандера.

Результати розрахунку зниження температури повітря на вході ТК Δt_b і температури охолодженої суміші повітря $t_{сум}$ на вході ТК привідного двигуна при відборі половини охолодженого повітря після турбодетандера на охолодження ЕГ, а також температури повітря на виході з турбодетандера $t_{д2}$ подано на рис. 2.

Як видно, при відборі половини охолодженого повітря після турбодетандера на охолодження ЕГ зниження температури повітря на вході ТК Δt_b становить $\Delta t_b = 15\text{...}20\text{ }^\circ\text{C}$. Охолодження повітря на вході ТК ДГ забезпечує скорочення питомої витрати палива b_e ДГ (рис. 3).

Через використання привідним двигуном лише половини витрати охолодженого в турбодетандері повітря скорочення питомої витрати палива b_e двигуна завдяки охолодженню повітря на вході ТК незначне і становить приблизно на 1% (рис. 4). Але при цьому досягається ефект ще й на ЕГ завдяки виключенню енергетичних витрат на циркуляцію охолоджуючого — вентиляційного — повітря, які становлять $2\text{...}3\%$ виробленої електроенергії. З урахуванням цього загальний ефект від зменшення питомої витрати палива становить близько 3% .

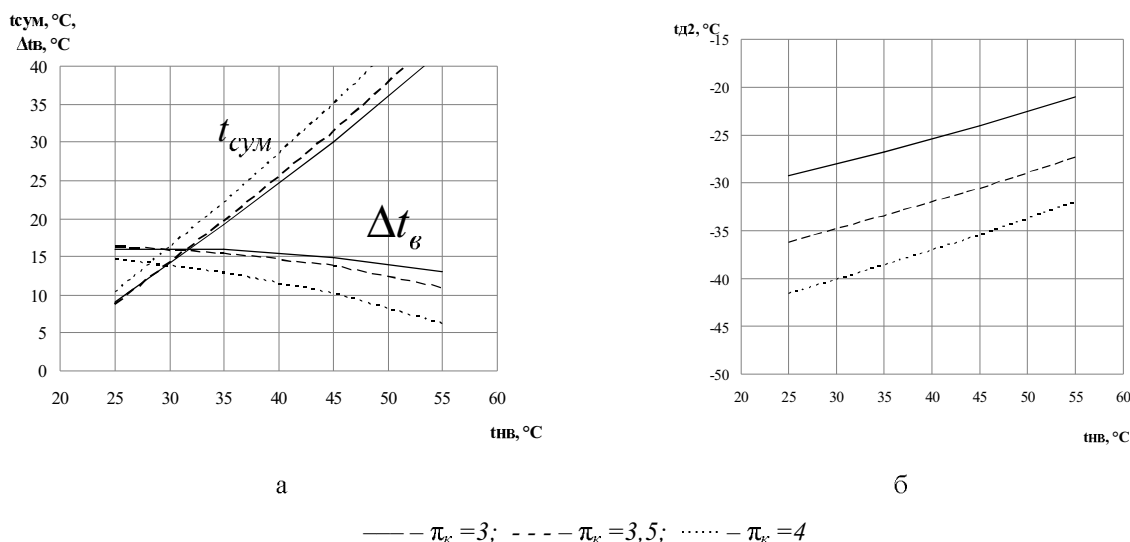


Рис. 2 – Залежності зниження температури повітря на вході ТК $\Delta t_{\text{б}}$ і температури охолодженої суміші повітря на вході ТК $t_{\text{сум}}$ при відборі половини охолодженого повітря після турбодетандера на охолодження ЕГ (а) та температури повітря на виході з турбодетандера $t_{\text{д2}}$ (б) від температури зовнішнього повітря $t_{\text{нв}}$ при степенях наддуву $\pi_{\text{к}}$

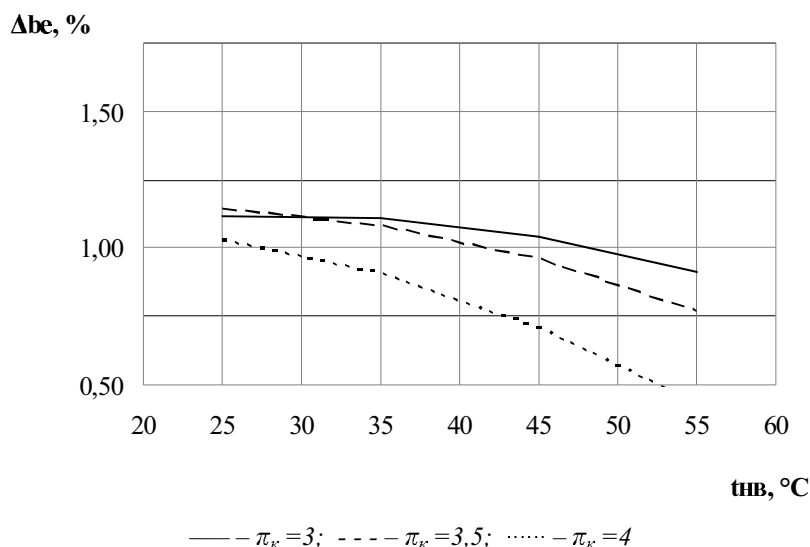


Рис. 3 – Залежності зменшення витрати палива Δb_e від температури зовнішнього повітря $t_{\text{нв}}$ при степенях наддуву $\pi_{\text{к}}$

Оскільки зниження температури повітря на вході ТК ДГ $\Delta t_{\text{б}}$ становить 15...20 °C (рис. 3), а кожні $\Delta t_{\text{б}} = 10$ °C охолодження приводять до зростання потужності ДГ на 3...5 % [2, 4], то загальне підвищення потужності ДГ перевищує 6 %.

Висновки

Вперше запропонована турбодетандерна система охолодження ЕГ і привідних двигунів, яка використовує енергію відхідних газів ДГ і забезпечує зменшення питомої витрати палива і, відповідно, зростання ККД ДГ на 3 % та потужності ЕГ на 6 %. При цьому відпадає потреба у вентиляторі для циркуляції охолоджуючого повітря в ЕГ.

Література

1. Борисенко А.И. Аэродинамика и теплопередача в электрических машинах / А.И. Борисенко А.И., Даныко В.Г., Яковлев А.И. – М.: Энергия, 1974. – 560 с.

2. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005.
3. Thermo Efficiency System (TES) for reduction of fuel consumption and CO₂ emission: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005.

Дослідження виконане за фінансової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень МОН України у рамках гранту Президента України.

УДК 621.436; 621.57

ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ТУРБОДЕТАНДЕРОМ

Радченко М.І., д-р техн. наук, проф., Коновалов А.В., аспірант
Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

Розроблені схеми систем охолодження повітря на вході дизель-генераторів на базі турбодетандера, що використовує надлишкову кількість наддувального повітря понад необхідну для наддуву дизеля. Показані переваги таких систем охолодження повітря.

The schemes of intake air cooling systems for diesel-generators on the base of turboexpander using the surplus charge air amount exceeding the amount of air needed for scavenging diesel engine have been developed. The advantages of such air cooling systems are shown.

Ключові слова: система охолодження повітря на вході, дизель-генератор, турбодетандер.

1. Аналіз проблеми та постановка мети дослідження. Паливна економічність дизель-генераторів (ДГ) суттєво погіршується з підвищенням температури повітря на вході їх наддувних турбокомпресорів (ТК). Так, кожні 10 °С збільшення температури зовнішнього повітря на вході дизелів призводять до зростання питомої витрати палива на 0,5...0,7 % [1, 2]. В той же час з підвищенням температури повітря на вході ДГ зростає температура відхідних газів, відповідно, й енергетичні втрати з ними. То ж цілком логічним видається використання енергії відхідних газів у холодильних машинах для охолодження повітря на вході ДГ.

Для охолодження повітря на вході ДГ доцільно застосовувати турбодетандерні установки (ТДУ). Головною перевагою ТДУ охолодження повітря на вході ДГ є використання екологічно чистого і дешевого холодоагенту — повітря. Екологічний аспект особливо важливий для стаціонарних мініелектростанцій на базі ДГ у густонаселених районах.

Вибір ТДУ зумовлений ще й тим, що сам турбодетандерний вузол вже присутній у ДГ, і проблема полягає в його принциповому вдосконаленні шляхом доповнення властивими йому ж елементами та розробки схем їх інтегрування в діючі системи турбонаддуву та утилізації енергії відхідних газів. Вирішення цієї проблеми вимагає зміни традиційних підходів до створення турбодетандерів: не збільшенням тиску їх наддуву (степені підвищення тиску π_k), що супроводжується неминучим падінням їх ККД η_{π_k} , а навпаки, підвищенням їх продуктивності при максимальному ККД і, відповідно, оптимальному тиску (при оптимальній величині π_k). Надлишкову ж кількість стисненого повітря (понад необхідну для наддуву) спрямовують у турбодетандер, при розширенні в якому (до атмосферного тиску) повітря охолоджується. Охолоджене повітря від турбодетандера змішують із зовнішнім повітрям на вході ТК, забезпечуючи зниження температури повітря на всмоктуванні ТК при високих температурах зовнішнього повітря і, як наслідок, зростання ККД ДВЗ і, відповідно, скорочення питомої витрати палива.

Метою роботи є розробка схем турбодетандерних систем охолодження повітря на вході ДГ, які використовують енергію відхідних газів і забезпечують скорочення витрат палива.

2. Результати дослідження. Відомий єдиний варіант реалізації резерву потужності утилізаційної газової турбіни (УГТ) — понад потужність, необхідну для приводу наддувального ТК — для цілей охолодження наддувального повітря, а саме шляхом додаткового підвищення тиску наддувального повітря (понад тиск наддуву) із наступним водяним охолодженням стисненого повітря і розширенням у турбодетандері до необхідного тиску наддуву двигуна (рис. 1 [3]).

У процесі розширення стисненого повітря у турбодетандері ТД здійснюється додаткове (до водяного) охолодження наддувального повітря. Таке турбодетандерне охолодження наддувального повітря в комбінації з його проміжним водяним охолодженням застосовувалось у двигунах фірми «Купер-Бессемер» [3].