

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Toms B. A. Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers // Proc. 1st Intern. Congr. Rheol. North Holland. - 1948.-№2. -P. 135-141.
2. Бакарджиева В. И. Некоторые гидродинамические особенности применения полимерных добавок в трубопроводном транспорте : Дис. канд. техн. наук. — Уфа, 1974. — 112с.
3. Hoyt J. W., Fabula A. C. The effect of additives on fluid friction, Proc. 5th Symp. On Naval hydrodynamics. - Bergen. - 1964. - P. 947.
4. Elata C., Tirosh I. Frictional drag reduction // Israel journal of technology. 1966.-V. 4. -№1. — P. 4-7.
5. Whit A. A. Turbulent draft reduction with polymer additives. J. Mech. Eng. Sci.-1966.-V.8.-№4. - P. 18-24.
6. Воронин Н.И., Шаховская Л.И., Кряжев Ю.Г. Влияние микроструктуры полиметилметакрилата на свойства разбавленных растворов в турбулентных условиях // ВМС. - 1977. - 19Б. - №4. - С. 306-307.
7. Ламли Дж. Л. Эффект Томса: аномальные явления при турбулентном течении разбавленных растворов линейных высокомолекулярных полимеров // Механика. - 1969. - №2. - С.70-89.
8. Коршак А.А. Ресурсосберегающие методы и технологии при транспортировке и хранении нефти и нефтепродуктов. — Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2006. - 192с.
9. Иванюта Ю. Ф., Чекалова Л. А. Экспериментальное исследование турбулентного течения слабых растворов полимеров в трубах различного диаметра // Инженерно-физический журнал. — 1971. — Т.21. №7. — С.6-11.
10. Ханну Х. Обеспечение качества нефти и нефтепродуктов при применении противотурбулентных присадок // ТХНП. - 2000. - № 4. -С. 21-22.
11. Харьоахто Х. Обеспечение качества нефти и нефтепродуктов при применении противотурбулентных присадок // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 2000. - №4. - С. 21-22.
12. Илюшников А. В., Майжай В. Н., Несын Г. В. Сравнительный анализ противотурбулентной эффективности отечественной и импортной присадок // Проблемы химии нефти и газа: Материалы конференции. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН. - 2004. - С. 269-272.
13. Ерошкина И. И. Повышение пропускной способности магистральных нефтепродуктопроводов на основе применения противотурбулентных присадок: Дис. Канд. Техн. Наук. - М., 2003. - 146с.
14. Коршак А. А., Хуссейн М. Н. А. Условия эффективного применения противотурбулентной присадки при решении задачи увеличения производительности нефтепровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2008. - № 1. - С. 41-45.
15. Коршак А. А., Хуссейн М. Н. А. Определение условий эффективного применения противотурбулентной присадки при решении задачи уменьшения энергозатрат на перекачку // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: сборник научных статей. - 2008. — №23. - С. 78-80.
16. Коршак А. А., Хуссейн М. Н. А. Выбор концентрации противотурбулентной присадки для обеспечения безопасной эксплуатации нефтепроводов ограничениями по рабочему давлению // Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах: материалы Международной научно- практической конференции. - Уфа. - 2008. - С. 273-275.
17. Walsh M. Theory of drag reduction in dilute high polymer flows // Trans. Soc. Rheol. - 1978. - V.27. - P. 134-137.

Отримано редакцією 11.2013 р.

УДК 621.577

**КОНОВАЛОВ Д.В., канд. техн. наук, доцент, РАДЧЕНКО М.І. д-р. техн. наук, професор,
БОЙКО О.В., аспірант, ПЕКУН В.В., магістр**

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

СУДНОВА ГАЗОТУРБІННА УСТАНОВКА З ТЕРМОПРЕСОРИМ ПІДВИЩЕННЯМ ТИСКУ В КОНТУРІ ПЕРЕРОЗШИРЕННЯ

Проаналізована ефективність застосування в газотурбінній установці додаткової турбіни перерозширення, що встановлюється після основної (силової) турбіни, з наступним підвищенням тиску продуктів згорання до атмосферного в термопресорі. Показано, що можливе істотне збільшення потужності газотурбінної установки та роботи турбіни перерозширення без підтискувального компресора.

Ключові слова: газотурбінна установка, турбіна перерозширення, термопресор, компресор.

The effectiveness of application in gas turbine unit of addition turbine, mounted behind the main (power) turbine, with further increasing the pressure of combustion products up to the atmospheric pressure in the thermopressor was analyzed. The possibility to achieve a significant enhancement of gas turbine unit power and a performance of the over expansion turbine without a booster compressor has been shown.

Keywords: gas turbine, expansion turbine, thermopressor, compressor.

Газотурбінні двигуни широко застосовуються в стаціонарній і транспортній енергетиці, зокрема в судновій. Турбіни малої потужності (до 1 МВт) застосовуються в установках автономного енергозабезпечення та на малотоннажних суднах, зокрема на суднах на повітряній подушці в якості суднової електростанції. Так, приклад, на судні типу "Зубр" застосовуються турбіни малої потужності ГТГ-100 К (потужність 100 кВт). Енергетична установка "Зубру" складається

із привідних агрегатів сумарною потужністю 40 МВт для підтримання ходу судна та автономної електростанції потужністю 400 кВт, на базі ГТГ-100К. Основною перевагою газотурбінних установок (ГТУ) порівняно з поршневими двигунами внутрішнього згорання є можливість політропного розширення робочого тіла (продуктів згорання) до атмосферного тиску. Одним із способів підвищення ефективності ГТУ є додаткове розширення продуктів згорання нижче атмосферного тиску в допоміжній турбіні, яка встановлюється після основної (силової) турбіни, тобто застосування турбіни перерозширення. Отримана в турбіні перерозширення потужність витрачається на стиснення відпрацьованих газів до атмосферного тиску компресором, а надлишкова потужність (понад споживану компресором) може передаватися на гребний вал або використовуватися для приводу електрогенератора [1].

Для охолодження газу в контурі перерозширення перспективним є застосування термопресора, в якому збільшення повного тиску газу відбувається у процесі миттєвого випаровування розпиленої в ньому води [2, 3]. При цьому вода упорскується в газовий потік, який рухається зі швидкістю, близькою до звукової. Питанням теорії робочих проце-

сів, конструювання та випробування термопресорів присвячені роботи [4–5]. В роботі [6] наведено результати теоретичного дослідження застосування термопресорного стиснення в контурі перерозширення ГТУ сумісно із додатковим охолоджувачем газу і дотискаючим компресором.

Для суден на повітряній подушці характерним є обмеженість по масі та об'єму машинного відділення (МВ), що робить встановлення додаткового габаритного обладнання вельми проблематичним. Проте термопресор є достатньо компактним апаратом, розміри якого дозволяють розміщувати його в обмеженому об'ємі МВ. Тому, вочевидь, його застосування в контурі перерозширення ГТУ, в якості компресора і охолоджувача одночасно, є доцільним.

Метою дослідження є оцінка ефективності застосування термопресорного підвищення тиску в контурі перерозширення суднової газотурбінної установки.

Схема додаткового контуру ГТУ із турбіною перерозширення і цикл такої установки наведені на рис. 1. Принцип роботи установки полягає в наступному: газ із тиском P_4 , що дорівнює атмосферному, і високою температурою ($400...600\text{ }^\circ\text{C}$) після ГТУ надходить на допоміжну турбіну, де політропно розширюється до тиску $P_5 = 0,35 \cdot 10^5\text{ Па}$ (процес 4–5). З метою зменшення роботи стиснення в компресорі газ охолоджують в холодильнику (процес 5–6). Внаслідок аеродинамічного опору ΔP теплообмінного апарата тиск $P_6 < P_5$. Холодний газ з температурою, наприклад, $t_3 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ [1] (в залежності від температури охолоджуючої середовища) стискається турбокомпресором до атмосферного тиску (політропний процес 6–7). На T-S - діаграмі (рис. 1, б) ізобарний процес 7–1, що замикає цикл є умовним.

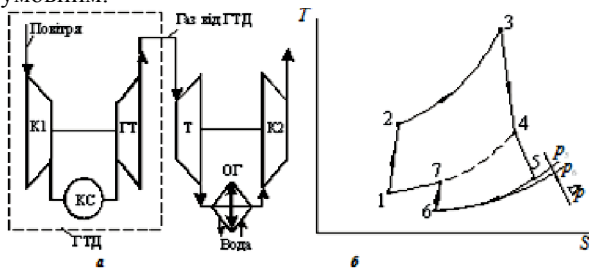


Рис. 1. Схема (а) та цикл (б) установки з турбіною перерозширення: ГТ – турбіна ГТУ; КС – камера згоряння; Т – турбіна перерозширення; К1, К2 – компресор; ОГ – охолоджувач газу

Охолоджувач газу ОГ і компресор К2 можна замінити компактным апаратом – термопресором, який поєднує одразу декілька функцій: охолодження і стиснення (рис. 2, а). Термопресор являє собою струменевий апарат, що складається із сопла і дифузора. До сопла підводиться газ з високою температурою. При витіканні з сопла тиск газу зменшується, а швидкість збільшується до

швидкості, близької звуковій. У розігнаний газовий потік на виході з сопла упорскують воду форсуною тонкого розпилю. За рахунок миттєвого випаровування крапель відбувається інтенсивне охолодження газу із одночасним підвищенням тиску (термогазодинамічний ефект).

В установці з термопресорним стисненням в контурі перерозширення газ після ГТУ надходить, як і в попередньому випадку, в допоміжну турбіну Т, де політропно розширюється до тиску P_2 (процес 4–5 на рис. 2, б).

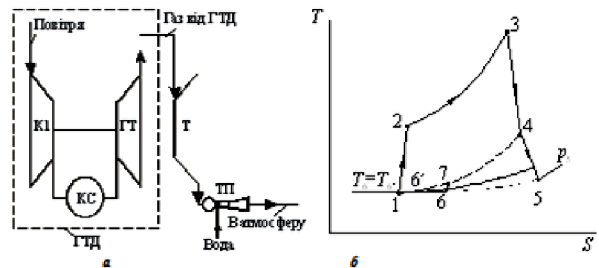


Рис. 2. Схема (а) і цикл (б) установки з турбіною перерозширення та термопресором: ГТ – турбіна ГТУ; КС – камера згоряння; Т – турбіна перерозширення; К1, К2 – компресор; ТП – термопресор

У соплі термопресора газ адіабатно розширюється до більш низького тиску і політропно стискається в дифузорі апарату до тиску $P_6' = P_{\text{атм}} > P_6$ (процес 5'–6'). Лінія 5'–6' являє собою умовний процес стиснення газового потоку в термопресорі. При забезпеченні в термопресорі такої ж глибини охолодження, як і в охолоджувачі газу, температури на виході будуть рівні: $T_6' = T_6 = 50\text{ }^\circ\text{C}$.

Аналіз ефективності суднової газотурбінної установки з термопресорним підвищенням тиску в контурі перерозширення було проведено для ГТУ малої потужності, які можуть бути рекомендовані для встановлення на суднах на повітряній подушці: ГТГ100К ("НВКГ "Зоря"-Машпроект", Україна), CapstoneC200 ("Capstone Turbine Corporation", США), Toyota 300A ("Toyota turbine system", Японія).

Вихідні дані для розрахунку: температура і витрата газу за ГТУ приймалася відповідно до характеристик ГТУ в залежності від температури повітря на вході в компресор. Температура газу за термопресором приймалася $t_6' = 50\text{ }^\circ\text{C}$. Характеристики термопресора розраховувалися за розробленим програмним комплексом на основі відомих методик [3, 4].

Застосування турбіни перерозширення знижує температуру газу t_{r2} на виході з ГТУ на $50...60\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 3, а), але тепловий потенціал відхідних газів для застосування в термопресорі досить великий: ГТГ100К ($N_e = 100\text{ кВт}$, $b_e = 575\text{ г/кВт}\cdot\text{год}$) – $t_{r2} = 440...480\text{ }^\circ\text{C}$, Capstone C200 ($N_e = 200\text{ кВт}$, $b_e = 442\text{ г/кВт}\cdot\text{год}$) – $420...470\text{ }^\circ\text{C}$, Toyota 300A ($N_e = 300\text{ кВт}$, $b_e = 373\text{ г/кВт}\cdot\text{год}$) – $400...440\text{ }^\circ\text{C}$. При зниженні температури відхідних газів $\Delta t_{\text{ТП}}$ від

температури t_{t2} на вході в термопресор до $50\text{ }^\circ\text{C}$ на виході можливе отримання значного збільшення тиску (рис. 3, б, в).

для ГТГ100К – на $25\text{...}37\text{ кВт}$ ($35\text{...}40\%$), Capstone C 200 – $35\text{...}50\text{ кВт}$ ($20\text{...}25\%$), Toyota 300A – $50\text{...}65\text{ кВт}$ ($20\text{...}25\%$). Масова доля води,

що упорскується в термопресор, складає $G_w = 0,03\text{...}0,10$. Застосування термопресора сумісно з турбіною перерозширення більш ефективне при невеликих потужностях ГТУ (ГТГ100К), оскільки турбінам такого типу відповідають більш високі температури газу на виході t_{t2} , а відтак і більш значення ΔP .

Результати теоретичного дослідження добре узгоджуються з експериментальними даними, отриманими в роботах [2, 4], де наведено збільшення тиску відхідних газів ГТУ термопресором на $10\text{...}25\%$.

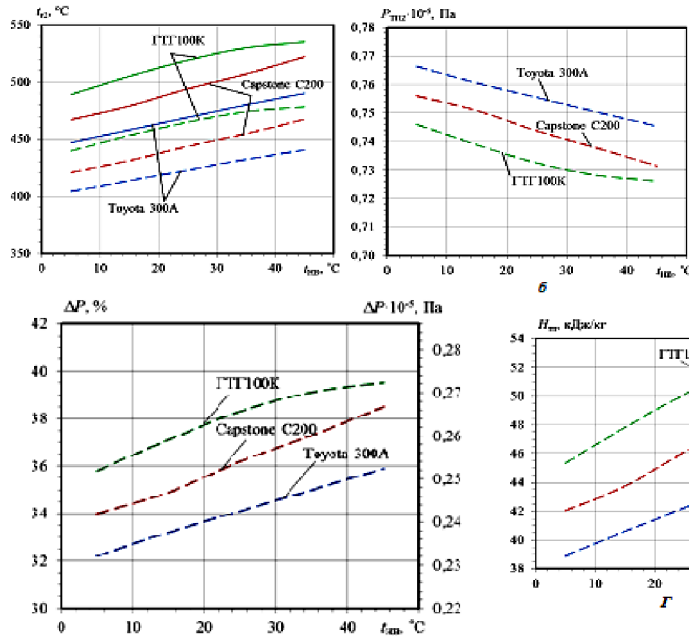


Рис. 3. Залежності температури відхідних газів за ГТУ t_{t2} (а), тиску на виході з турбіни перерозширення (вихід в ТП) $P_{ТП2}$ (б), збільшення тиску в термопресорі ΔP (в) і роботи турбіни перерозширення $H_{тп}$ та степені розширення газу в турбіні $\pi_{тп}$ (г) від температури повітря на вході $t_{тв}$ для різних типів ГТУ: _____ – ГТУ без турбіни перерозширення; _____ – ГТУ з турбіною перерозширення

Дослідження показали, що збільшення тиску в термопресорі складає для ГТГ100К – $\Delta P = 36\text{...}40\%$, Capstone C200 – $35\text{...}38\%$, Toyota 300A – $32\text{...}36\%$. Досить великий перепад тиску пояснюється, відповідно великим перепадом температур в термопресорі, який складає $\Delta t_{ТП} = 350\text{...}430\text{ }^\circ\text{C}$. Збільшення тиску в термопресорі дає змогу знизити тиск за турбіною перерозширення $P_{ТП2}$ (рис. 3, б): для ГТГ100К – на $0,725\text{...}0,745 \cdot 10^5\text{ Па}$, Capstone C200 – $0,730\text{...}0,755 \cdot 10^5\text{ Па}$, Toyota 300A – $0,745\text{...}0,765 \cdot 10^5\text{ Па}$. Це дозволяє збільшити степінь розширення газу в турбіні $\pi_{тп}$ з відповідним збільшенням потужності турбіни N_T (рис. 4, а): для ГТГ100К – на $60\text{...}70\text{ кВт}$, Capstone C200 – $75\text{...}90\text{ кВт}$, Toyota 300A – $95\text{...}105\text{ кВт}$. При температурах $t_{тв} = 15\text{...}20\text{ }^\circ\text{C}$ значення потужності максимальне, що пояснюється протилежною поведінкою показників, від яких залежить N_T : витрата відхідних газів G_T при збільшенні $t_{тв}$ зменшується, а температура t_{t2} збільшується з відповідним збільшенням тиску ΔP в термопресорі.

Отримання додаткової потужності в турбіні перерозширення збільшує загальну потужність суднової ГТУ в порівнянні з базовою (рис. 4, б):

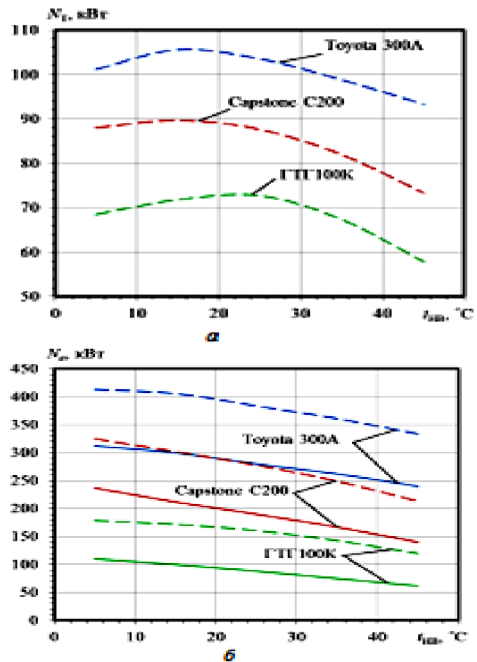


Рис. 4. Залежності потужності турбіни перерозширення N_{Tt} (а), ГТУ (б) від температури повітря на вході $t_{тв}$ для різних типів ГТУ: _____ – ГТУ без турбіни перерозширення; _____ – ГТУ з турбіною перерозширення

Висновки

1. Використання в ГТУ енергії продуктів згоряння шляхом їх розширення нижче атмосферного тиску в додатковій турбіні перерозширення, що встановлюється після основної (силової) турбіни, з подальшим

підвищенням їх тиску в термопресорі забезпечує збільшення потужності ГТУ на 20...25 %.

2. Застосування термопресорного стиснення дозволяє поєднати в одному апараті (термопресорі) одразу декілька функцій: стиснення (компресор) і охолодження (охолоджувач газу), що в свою чергу,

дає можливість застосувати перерозширення газу в ГТУ на спеціалізованих суднах на повітряній подушці, де встановлення додаткового обладнання вельми проблематично через обмежений об'єм машинного відділення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bianchi, M.A feasibility study of inverted Brayton cycle for gas turbine repowering [Текст] / M. Bianchi, G. Negri di Montenegro, A. Peretto, P.R Spina. // Proceedings of ASME TURBO EXPO 2003. – Paper GT-2003-38186. – 8 p.
2. Ерофеев, В.Л. Экспериментальное исследование термопресора [Текст] / В.Л. Ерофеев // Тр. ленинградского ин-та водного транспорта. Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота. – 1974. – вып. 147. – С. 25–30.
3. Вулис, Л.А. Термодинамика газовых потоков [Текст] / Л.А. Вулис – М.:Л.: Госэнергоиздат, 1950. – 304 с.
4. Степанов И.Р. Некоторые задачи движения газа и жидкости в каналах и трубопроводах энергоустановок [Текст] / И.Р. Степанов, В.И. Чудинов – Л.: Наука, 1977. – 200 с.
5. Живица, В.И. Интенсификация процессов в контактных охладителях аммиачных холодильных установок [Текст] / В.И. Живица // Холодильная техника и технология. – 2002. – № 2 (76). – С. 24-28.
6. Коновалов, Д.В. Газотурбинный двигатель простого цикла с турбиной перерасширения и термопресором [Текст] / Д.В. Коновалов, А.Н. Радченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 10 (674). – С. 98–101.

Отримано редакцію 11.2013 р.

УДК 621.575.932:621.565.92

СЕЛИВАНОВ А.П., преподаватель первой категории

Одесский технический колледж ОНАПТ

ТИТЛОВ А.С., д-р техн. наук, профессор

Одесская национальная академия пищевых технологий

РАЗРАБОТКА АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

На протяжении трёх лет была проведена серия опытов в условиях использования низкотемпературного потенциала окружающей среды с бытовым холодильником типа «ларь», оснащённым агрегатом абсорбционного типа. По результатам опытов был проведен анализ эффективности абсорбционного агрегата «сезонного» типа в сравнении с агрегатом, используемым в стандартных условиях, а также предварительное моделирование работы агрегата с целью определения перспективы применения потенциала окружающей среды для глобальной экономии энергоресурсов и возможности утилизации ненадёжных источников энергии в качестве движущей силы теплоиспользующей холодильной машины на протяжении длительного времени.

Ключевые слова: абсорбционная холодильная машина, холодильник «сезонного» типа, низкотемпературный потенциал окружающей среды, технологии «нечёткого» моделирования в многофакторных системах

For three years a series of experiences in conditions of use of low-temperature potential of environment with the household "chest" refrigerator equipped with the unit of absorbing type was carried out. By results of experiences the analysis of efficiency of the absorbing unit of "seasonal" type in comparison with the unit used in standard conditions, and also preliminary modeling of operation of the unit for the purpose of definition of prospect of use of potential of environment for global economy of energy resources and possibility of utilization of unreliable power sources as a driving force of the heat using refrigerator throughout a long time was carried out.

Key words: the absorbing refrigerator, the refrigerator of "seasonal" type, low-temperature potential of environment, technology of "indistinct" modeling in multiple-factor systems

Невозможно представить себе жизнь современного человека без использования искусственно-го холода во всех его проявлениях. Использование холодильников, морозильников, минихолодильников и кондиционеров является необходимым элементом быта каждой семьи. Вместе с тем анализ потребительского рынка бытовой холодильной

техники на территории Украины и других государств постсоветского пространства показывает перенасыщение оборудованием ведущих фирм Европы, США, Юго-Восточной Азии и Японии в рамках агрессивной ценовой политики и практически полное отсутствие отечественных моделей по ценам, доступным основной части населения.

Экономическая ситуация в Украине не позволяет развернуть стабильное производство парокompрессионной холодильной техники и обеспечить резкое увеличение выпуска бытовой холодильной техники по относительно низким ценам можно только за счёт моделей абсорбционного типа. Это связано с тем, что затраты на расширение и модернизацию их производства значительно ниже по сравнению с компрессионными аналогами, и, кроме того, себестоимость абсорбционных моделей до 50% ниже из-за отсутствия в конструкции дорогостоящего компрессора и использования трубопроводов и теплообменных аппаратов из черных металлов.

Также отсутствие компрессора определяет более высокую надёжность и ресурс абсорбционных моделей, а также их практическую бесшумность в работе [1]. Характерной особенностью абсорбционных холодильников является возможность использования для их работы различных неэлектрических источников энергии (газ, биогаз, керосин, бензин, сбросовое тепло и т.д.), а также возможность работы на электрических источниках низкого качества. Падение напряжения в сети до 160 В, что