

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ
АДМІНІСТРАЦІЇ

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XIV Міжнародна науково-технічна конференція

МАТЕРІАЛИ

20-21 вересня 2023 рік

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9*

Миколаїв 2023

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ
ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Міністерство освіти і науки України, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України; ДП «Адміністрація морських портів» (Україна); ДП «Адміністрація річкових портів» (Україна); ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» (Україна); Південний науковий центр НАН України і МОН України (Україна); Головне управління Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Миколаївській області (Україна); Національний університет «Одеська національна академія» (Україна); Одеський національний морський університет (Україна); Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка (Україна); Черкаський державний технологічний університет (Україна); Національний авіаційний університет (Україна); Компанія «АМІКО ГРУПП» (Україна); Морське інженерне бюро (Україна); АТ «Завод «Екватор» (Україна); Асоціація ветеранів Військово-морських сил України (Україна); Харбінський інженерний університет (КНР); Університет науки і технологій Цзянсу (КНР); Шаньдунський науково-технічний університет (КНР); Таджикиський технічний університет ім. академіка М.С. Осими (Таджикистан); Гданьський технологічний університет (Польща); Західно-Померанський технологічний університет (Польща); Кошалінський технічний університет (Польща); Празький університет хімії і технології (Чеська республіка); Батумський навчально-навігаційний університет (Грузія); ДУ Національний антарктичний науковий центр.

ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ

ТОВ «Видавничий дім «Гельветика»; науковий журнал «Shipbuilding & marine infrastructure»; журнал «Судноплавство»

Відповідальний за випуск

Павлов Геннадій Вікторович

Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність наведених даних та посилань. Матеріали публікуються в авторській редакції

Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XIV Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2023. – 756 с.
ISBN 978-966-321-462-7

У збірнику наведені матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції "Інновації в суднобудуванні та океанотехніці". Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК УДК 001.895:629.5

УДК 621.438 (075)

ZERO EMISSIONS POWER PLANT BASED ON THE ALLAM CYCLE

Patlaichuk V. M.*Head of the Department of Turbines**Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolayiv, Ukraine**volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua***Patlaichuk O. V.***student, group 6231m**Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolayiv, Ukraine**alexpatlaichuk@gmail.com*

Abstract. The thermal scheme of a power plant based on the Allam thermodynamic cycle with zero emissions of harmful substances into the atmosphere is considered. The peculiarities of the operation of such a power plant are analyzed.

Keywords: Allam cycle; power plant; zero emissions; turbine; combustor; carbon dioxide; supercritical parameters.

The Allam Cycle is a process for converting carbonaceous fuels into thermal energy, while capturing the generated carbon dioxide and water. The key inventors behind the process are English engineer Rodney John Allam, American engineer Jeremy Eron Fetvedt, American scientist Dr. Miles R. Palmer, and American businessperson and innovator G. William Brown. The Allam Cycle was recognized by MIT Technology Review on the 2018 list of 10 Breakthrough Technologies [1; 2; 3; 4].

This zero emissions cycle was validated at a 50 MWth natural gas fed test facility in La Porte, Texas in May 2018. On November 15, 2021, the test facility successfully synchronized to the grid proving that the Allam Cycle was capable of generating power at 60 Hz.

The cycle is not a combined cycle (fig. 1). Instead, it exploits the special thermodynamic properties of carbon dioxide as a working fluid by eliminating the energy losses that steam-based cycles encounter due to the heat of vaporization and condensation [5; 6; 7].

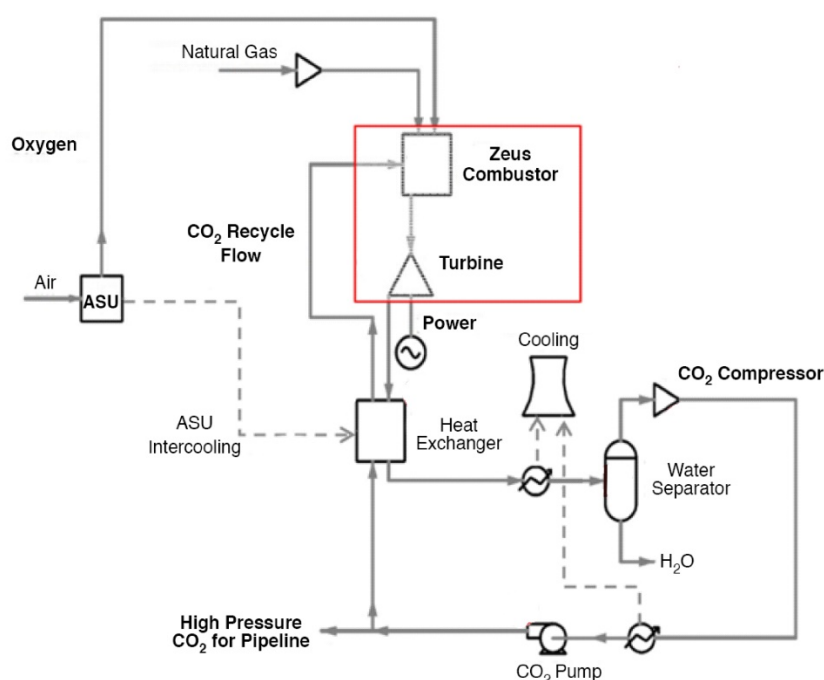


Fig. 1. Zero emissions power plant based on the Allam cycle

The Allam Cycle removes the steam Rankine Cycle from the process and improves upon the simpler, more efficient Brayton Cycle. The Allam Cycle combusts natural gas or synthetic gas (derived from a coal gasification system) with pure oxygen (oxyfiring), as opposed to burning gas with air.

Following a Brayton Cycle-like expansion across its turbine, CO₂ is recirculated back to the beginning of the cycle in a highly recuperative process. The system eliminates the expensive steam cycle components and avoids the inefficiencies of traditional Rankine cycles.

This process generates a relatively pure stream of high pressure carbon dioxide and some water while significantly reducing or eliminating other pollutants such as NO_x. At very high pressures, CO₂ exhibits a greater energy density and work output, enabling the cycle to reach extremely high efficiencies.

The working fluid is expanded through a turbine that has an inlet pressure in the range of 20 MPa to 40 MPa and a pressure ratio between 6 and 12. It is then cooled through a heat exchanger, and H₂O is separated from it to create a CO₂ stream. The CO₂ stream is pressurized and a major part of this flow is fed back to the combustor to begin the cycle anew.

This novel cycle separates almost all of the CO₂ from the other combustion products, producing a sequestration-ready CO₂ byproduct that is at pipeline quality and pressure. The need for a separate CO₂-capture system is thus eliminated. There is therefore no efficiency penalty of adding a capture process, which can typically result in a loss of around 10 per cent in overall electrical efficiency.

An important factor in achieving high net cycle efficiency is to use a high turbine inlet temperature. This temperature, however, is limited by the maximum allowable temperature of turbine exhaust that flows directly into the heat exchanger.

The operating temperature at the hot end of the heat exchanger is thus in the range of 700°C to 750°C. This leads to a typical turbine inlet temperature constraint in the range of 1100°C to 1200°C [1].

Turbine and combustor. The turbine and combustor are new pieces of equipment for this cycle, and their development includes combining gas turbine and steam turbine technologies.

The turbine inlet temperature of the cycle is not high for gas turbines, but it is very high for steam turbines. Similarly, the pressure of this cycle does not surpass that of advanced steam turbines, but it is extremely high for gas turbines. The combustor has been designed to cope with a gas pressure of 30 MPa, which is more than 10 times the gas pressure utilized in conventional gas turbines.

Turbine: The power plant needs only a single HP turbine for this cycle. In traditional coal-fired plants, the steam turbine consists of HP, IP and LP sections. Since the pressure at the exhaust end of the Allam Cycle turbine is near 3 MPa, no need for IP or LP sections.

The turbine has a double shell structure (outer casing and inner casing), which is steam turbine technology that serves to contain the system's high pressure. The space between the inner casing and outer casing will be filled with a carbon dioxide cooling flow extracted from the lower temperature end of the plant.

The cooling technology enables the outer casing and larger inner casings to be designed using CrMoV casting. Ni-based material is used for the smaller, inner casing that encloses the exhaust area, where temperatures are higher than 700°C and moderate cooling is applied.

In addition to using a welded rotor, the turbine design calls for the use of cooling technology. Cooling CO₂ is supplied to the rotor. This cooling flow is distributed to each stage through the rotor, which protects both the blade fixation and the moving blade.

Film cooling (which is generally used for high temperature gas turbines) is not needed because the inlet temperature is not extremely high, as compared to existing gas turbines, and because the heat transfer coefficient of the cooling flow is very high, making simple convection cooling very effective.

Combustor: The combustion process in this cycle is of critical importance because the working fluid and pressure is different from typical heavy-duty gas turbines. Major characteristics of this combustor are:

- Negligible NO_x emissions because of the use of oxygen as opposed to air.
- Temperature is not as high as existing combustors for heavy frame gas turbines.
- Pressure is much higher than existing combustors.

Recent developments in combustors for heavy frame gas turbines have been focused on decreasing NO_x emissions. This effort has led to the use of premix combustion, in which fuel is mixed with air before combustion to enable lower temperature combustion. The disadvantage of premixed combustion, however, is that it causes system vibrations, called dynamics, due to flame instability.

The Allam Cycle has an advantage in this respect because it eliminates NO_x while enabling adoption of simpler and more stable diffusion combustion. The system is also able to use proven cooling technology, such as back side convection cooling, due to the moderate temperature of combustion and the high cooling capability and availability of carbon dioxide.

Allam Cycle is expected to deliver 58-59% net efficiency (LHV) on natural gas fuel including 100% CO₂ capture at 30 MPa.

The gross efficiency of 50 MWth power plant in La Porte, Texas is 82.70%. From this amount, 11.6% of the power is spent on driving CO₂ compressors. The other parasitic power losses (operation of the air separation unit, the drive of O₂ and natural gas booster compressors, etc.) take yet 12.2% of the gross efficiency. The resulting power plant net efficiency is 58.9% [1].

References

- [1] Isles J. Gearing up for a new supercritical CO₂ power cycle system. Gas Turbine World. 2014. Vol. 44 (6). P. 14-18.
- [2] Allam R. NET Power's CO₂ cycle: the breakthrough that CCS needs. Modern Power Systems. URL: <https://www.modernpowersystems.com/features/featurenet-powers-co2-cycle-the-breakthrough-that-ccs-needs>.
- [3] Breaking ground for a groundbreaker: the first Allam Cycle power plant. Modern Power Systems. URL: <https://www.modernpowersystems.com/features/featurebreaking-ground-for-a-ground-breaker-the-first-allam-cycle-power-plant-4893271>.
- [4] System and method for high efficiency power generation using a carbon dioxide circulating working fluid : US patent 8959887; published 2015-02-24; issued 2013-11-04; assigned to Palmer Labs, LLC and 8 Rivers Capital, LLC.
- [5] Dodge E. CCS Breakthrough: CO₂ Power Cycles Offer Improved Efficiency and Integrated Carbon Capture. Breaking Energy. URL: <https://breakingenergy.com/2014/11/14/ccs-breakthrough-sco2-power-cycles-offer-improved-efficiency-and-integrated-carbon-capture>.
- [6] Allam R., Martin S., Forrest B., Fetvedt J., Lu X., Freed D., Brown G., Sasaki T., Itoh M., Manning J. Demonstration of the Allam Cycle: An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture. Energy Procedia: 13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, 14–18 November 2016. Vol. 114. P. 5948–5966.
- [7] Lu X., Forrest B., Martin S., Fetvedt J., McGroddy M., Freed D. Integration and Optimization of Coal Gasification Systems With a Near-Zero Emissions Supercritical Carbon Dioxide Power Cycle. American Society of Mechanical Engineers: Digital Collection. Vol. 9: Oil and Gas Applications; Supercritical CO₂ Power Cycles; Wind Energy. URL: <https://doi.org/10.1115/GT2016-58066>.

Енергетична установка з нульовими викидами на основі циклу Аллама

Патлайчук В.М., Патлайчук О.В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна.

Анотація. Розглянута теплова схема енергетичної установки з нульовими викидами шкідливих речовин в атмосферу, яка виконана на основі термодинамічного циклу Аллама. Проаналізовані особливості роботи такої установки.

Ключові слова: цикл Аллама; енергетична установка; нульові викиди; турбіна; камера згоряння; вуглекислий газ; надкритичні параметри.