

Технічні науки

УДК 621.438+621.165

Любчик Геннадій Миколайович

доктор технічних наук, професор

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Любчик Геннадий Николаевич

доктор технических наук, профессор

Национальный технический университет Украины

“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”

Liubchik Gennadii

Doctor of Technical Sciences, Professor

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Фіалко Наталія Михайлівна

доктор технічних наук, професор,

член кореспондент НАН України, завідувач відділом

Інститут технічної теплофізики НАН України

Фиалко Наталия Михайловна

доктор технических наук, профессор,

член корреспондент НАН Украины, заведующая отделом

Институт технической теплофизики НАН Украины

Fialko Nataliia

Doctor of Technical Sciences, Professor

Corresponding Member of NAS of Ukraine, Head of the Department

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Реграгі Абубакр

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Реграги Абубакр

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Regragui Aboubakr

Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Навродська Раїса Олександрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник

Институт технічної теплофізики НАН України

Навродская Раиса Александровна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

ведущий научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Navrodskaia Raisa

Candidate of Technical Sciences (PhD),

Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Шеренковський Юлій Владиславович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник

Институт технічної теплофізики НАН України

Шеренковский Юлий Владиславович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

ведущий научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Sherenkovskii Julii

Candidate of Technical Sciences (PhD),

Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНАРНИХ ГАЗОПАРОВИХ
УСТАНОВОК НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ДВОПАЛИВНИХ
СХЕМ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНАРНЫХ ГАЗОПАРОВЫХ
УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДВУХТОПЛИВНЫХ СХЕМ**

**INCREASING THE EFFICIENCY OF MONAR GAS-STEAM PLANTS
BASED ON THE USE OF DUAL-FUEL CIRCUITS**

Анотація. В роботі запропоновано нові схемні рішення двопаливних монарних газопарових установок (ДМГПУ), що забезпечують підвищення ефективності виробництва електричної енергії в цих установках шляхом заміщення витрат дефіцитного природного газу та збільшення частки генерування «енергетичної» водяної пари завдяки включенню до технологічної схеми установки додаткового джерела генерування пари – форкотла, де генерування пари відбувається в результаті використання хімічної енергії низькосортних твердих або рідких палив – замінників природного газу низької або середньої калорійності. Розглядаються ДМГПУ в двох варіантах застосування їхнього утилізаційного контуру: за умов нагрівання і випаровування в ньому живильної води монарної установки, або лише нагрівання цієї води. Наводяться результати розрахунків щодо ефективності реалізації даних схем на основі монарної газотурбінної установки у порівнянні з базовою установкою «ВОДОЛІЙ» та газотурбінною установкою простої схеми.

Ключові слова: газотурбінні установки (ГТУ), форкотел,

утилізаційний контур, замітники природного газу.

Аннотация. В работе предложены новые схемные решения двухтопливных монарных газопаровых установок (ДМГПУ), обеспечивающих повышение эффективности производства электрической энергии в этих установках путем замещения использования дефицитного природного газа и увеличения доли генерирования «энергетического» водяного пара за счет включения в технологическую схему установки дополнительного источника генерирования пара – «форкотла», в котором генерирование пара происходит в результате использования химической энергии низкосортных твердых или жидких топлив – заместителей природного газа низкой или средней калорийности. Рассматриваются ДМГПУ в двух вариантах эксплуатации их утилизационного контура: в условиях нагревания и испарения питательной воды, или только нагревания этой воды. Приводятся результаты расчетов эффективности реализации данных схем на основе монаршной газотурбинной установки по сравнению с базовой установкой «ВОДОЛЕЙ» и газотурбинной установкой простой схемы.

Ключевые слова: газотурбинные установки (ГТУ), форкотел, утилизационный контур, заместители природного газа.

Summary. The paper proposes new circuit solutions for dual-fuel monar gas-steam plants (DMGSP), which provide an increase in the efficiency of electricity production in these plants by replacing the use of natural gas and increasing the share of generating "energy" steam by including an additional source of generation in the technological scheme steam - "preboiler", in which steam generation occurs as a result of the use of chemical energy of low-grade solid or liquid fuels - substitutes for natural gas of low or medium calorific value. DMGSPs are considered in two variants of operation of their utilization circuit: under conditions of heating and evaporation of feeding water, or only

heating of this water. The results of calculations of the effectiveness of the implementation of these schemes on the basis of a monar gas turbine plant in comparison with the basic installation "VODOLEY" and a gas turbine plant of a simple scheme are presented.

Key words: *gas turbine units (GTU), preboiler, utilization circuit, substitutes of natural gas.*

Підвищення енергетичної ефективності газотурбінних установок (ГТУ) шляхом пошуку методів і засобів їх енергетичного форсування в напрямі підвищення коефіцієнта корисної дії і одиничної потужності ГТУ є одним із важливих завдань в галузі енергетики [1-3].

До важливих напрямів удосконалення, зокрема, монарних газопарових установок належить розроблення їхніх технічних рішень, орієнтованих на скорочення витрат дефіцитних висококалорійних енергетичних палив (природного газу і спеціальних марок рідких газотурбінних палив).

В роботі запропоновано нові схемні рішення двопаливних монарних газопарових установок (ДМГПУ), що забезпечують підвищення ефективності виробництва електричної енергії в цих установках шляхом заміщення витрат дефіцитного природного газу та збільшення частки генерування «енергетичної» водяної пари завдяки включенню до технологічної схеми установки додаткового джерела генерування пари – фортотла, в якому генерування пари відбувається в результаті використання хімічної енергії низькосортних твердих або рідких палив – замінників природного газу низької або середньої калорійності, природного чи штучного походження. Розглядаються ДМГПУ в двох варіантах використання їхнього утилізаційного контуру: за умов нагрівання і випаровування в ньому живильної води монарної установки, або лише нагрівання цієї води. На рисунку 1 наведено відповідні

технологічні схеми.

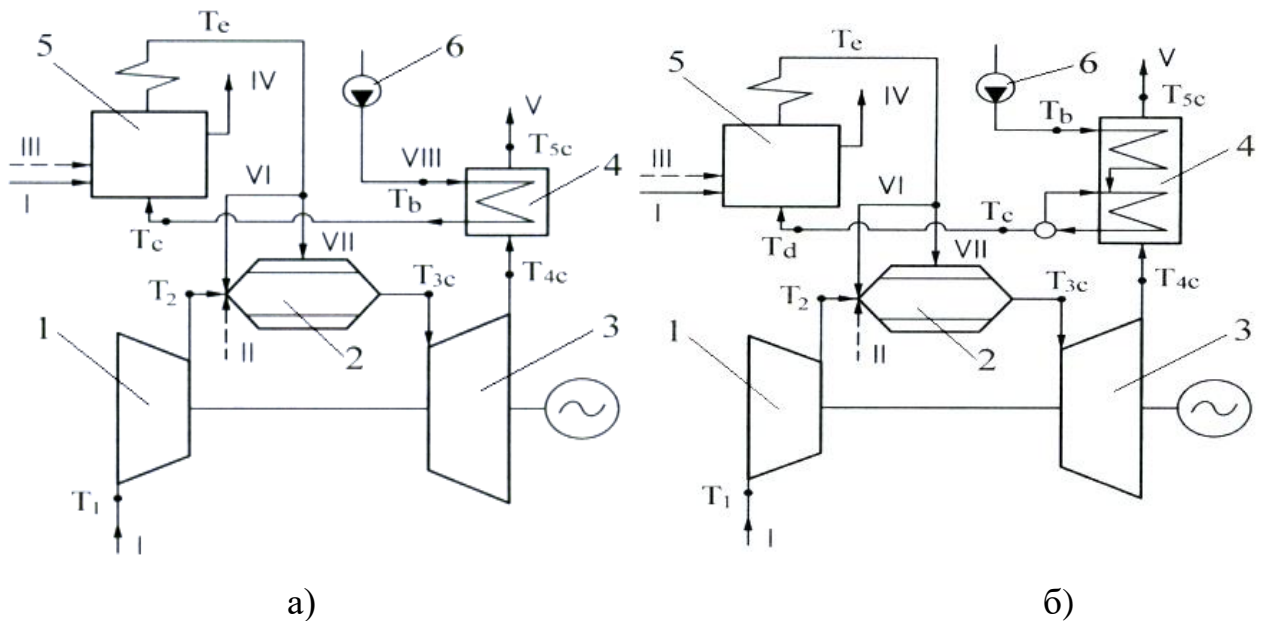


Рис. 1. Принципова технологічна схема двопаливної монарної парогазової установки при роботі теплоутилізаційного контуру в режимі підігріву живильної води (а) і в режимі її підігріву та випаровування (б):

1 – компресор; 2 – камера згорання; 3 – газопарова турбіна; 4 – теплоутилізаційний контур; 5 – форткотел; 6 – насос; I – атмосферне повітря; II – газове паливо; III – паливо-замінник природного газу; IV – відхідні гази форткотла; V – відпрацьована газопарова суміш; VI, VII – екологічна та енергетична пара; VIII – живильна вода

В результаті використання теплового потенціалу отриманих в зоні горіння стехіометричних продуктів згорання утворюється робоча газопарова суміш з паровмістом $d_{ГПС}$, який може перевищувати 50%. Залишковий тепловий потенціал цієї суміші після газопарової турбіни використовується в утилізаційному контурі, що розташований у її вихлопному тракті. В даному контурі реалізується режим підігрівача живильної води (варіант ПЖВ, рис. 1а) при спалюванні у форткотлі замінників природного газу низької калорійності, або режим підігрівача живильної води та випарника (варіант ПЖВВ, рис.1б) за умов спалювання палив - замінників середньої калорійності з подальшою подачею

живильної води або насиченої водяної пари до парового тракту форкотла.

У разі застосування палив-замінників низької калорійності форкотел працює в режимі випарника та пароперегрівача, а палив-замінників середньої калорійності – в режимі лише пароперегрівача. В обох варіантах екологічна та енергетична пара генерується в обсягах $m_{\text{п}}$, еквівалентних витраті компресорного повітря $m_{\text{к}}$. Екологічна пара подається в зону горіння, яке відбувається в режимі, близькому до стехіометричного (при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 1,05 \dots 1,2$), з утворенням первинної газопарової суміші з паровмістом $d_{\text{ЕК.П}} = 5 \dots 10\%$.

В запропонованих схемах подавання енергетичної пари здійснюють в зону змішування, яка розташована між зоною горіння та газозбірником газопарової турбіни, де відбувається її додатковий перегрів від початкового рівня температури T_0 після форкотла до номінальної температури циклу T_3 .

Виконано термодинамічний аналіз запропонованих двопаливних монарних парогазових установок [4], за результатами якого визначено їхні техніко - економічні показники. В таблиці 1 наводяться основні з цих показників у порівнянні з МПГУ типу «Водолій» та ГТУ простої схеми. (Тут K_N – визначається як відношення потужності парогазової установки до потужності базової ГТУ, а $K_{\text{ПГ}}$ як відношення витрат умовного палива у форкотлі та камері згорання двопаливної МПГУ).

Як свідчать виконані оцінки, запропоновані двопаливні МПГУ при відносній витраті водяної пари $\frac{m_n}{m_k} \approx 1,0$ характеризуються у порівнянні з базовою ГТУ простого циклу збільшенням одиничної потужності установки у 4,4 рази і підвищенням її ККД на 4% при роботі утилізаційного контуру в режимі ПЖВ та на 25% – при його роботі в режимі ПЖВВ. При цьому досягається заміщення витрат природного газу на 87% для першого з вказаних варіантів і на 15% - для другого.

Таблиця 1

Основні техніко-економічні показники монарних парогазових енергоустановок на базі ГТУ

Техніко-економічні показники	Базова ГТУ	Монарні парогазові установки на базі ГТУ-16		
		МПГУ «ВОДОЛІЙ»	ДМПГУ	
			Варіант	
			ПЖВ	ПЖВВ
Потужність, N_E , МВт	16,0	25,0	~ 70,0	~ 70,0
Відносна витрата водяної пари m_n/m_k	0	0,13	1,0	1,0
Коефіцієнт зростання потужності, K_N	1,0	1,6	4,4	4,4
ККД установки, %	31,0	43,0	35,0	56,0
Абсолютна зміна ККД, $\Delta\eta_{уст} = \eta_{уст} - \eta_{ГТУ}$, %	0	12,0	4,0	25,0
Відносна зміна ККД, $\delta\eta = \Delta\eta_{уст} / \eta_{ГТУ}$, %	0	~ 39,0	~ 13,0	~ 81,0
Коефіцієнт заміщення природного газу, $K_{ПГ}$	0	0	0,87	0,15

Отже, виконані дослідження показали, що приєднання до технологічної схеми монарної парогазової установки форкотла (який разом з теплоутилізаційним контуром на вихлопі турбіни та камерою згорання утворює послідовний ланцюг генерування водяної пари) дозволяє:

- забезпечити заміщення частини витрат дефіцитного природного газу низькосортними паливами;
- суттєво підвищити рівень використання теплового потенціалу камери згорання та збільшити паровміст газопарового робочого тіла;
- досягти підвищення енергетичної ефективності та значного зростання одиничної потужності монарної парогазової установки.

Література

1. Фиалко Н.М., Степанова А.И., Билека Б.Д., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В. Основные тенденции развития когенерационных технологий в энергетике // Технологические системы, 2012. № 4(61). С. 9-16.
2. Реграги А., Любчик Г.Н. Термодинамическое моделирование процессов в газотурбинных и комбинированных на их основе тепловых энергоустановках // Энергетика: економіка, технології, екологія, 2010. № 1. С. 97-104.
3. Любчик Г.Н., Чабанович Л.В., Говдяк Г.М., Реграги А., Шелковский Б.И. Когенерационно-утилизационные технологии на базе газотурбинных установок. К.: Варта. 2008. 188с.
4. Любчик Г.М., Фиалко Н.М., Реграги А., Навродська Р.О., Кутняк О.М., Швецова Л.Я. Энергетична ефективність двопаливних монарних парогазових установок // Сборник трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики». Институт промышленной экологии. К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. 2015. С. 116-120.