

621.3

Е62

**МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА**

*Б. Т. Кононов, Г. І. Лагутін*

# **ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ**

**Частина 3**

**ГАЗОТУРБІННІ УСТАНОВКИ**



**Харків**  
**2023**

62-1.3  
EG2

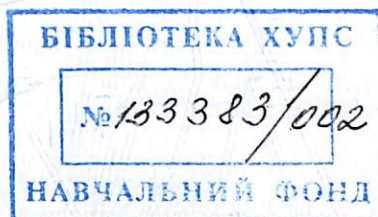
МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

## ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

### Частина 3 ГАЗОТУРБІННІ УСТАНОВКИ

Навчальний посібник

A 1 5 5 3 4 9



Харків  
2023

УДК 621.311.23  
Е62

*Рекомендовано до друку вченою радою  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
(протокол № 11 від 16.06.2020)*

*Автори:* Б. Т. Кононов, доктор. техн. наук, професор;  
Г. І. Лагутін, канд. техн. наук, доцент;  
С. М. Хабоша;  
О. М. Сокол

*Рецензенти:* В. Б. Кононов, доктор. техн. наук, професор;  
О. О. Ручка, канд. техн. наук, доцент

Енергетичні установки. Ч. 3. Газотурбінні установки : навч. посіб. /  
Е62 Б. Т. Кононов, Г. І. Лагутін, С. М. Хабоша, О. М. Сокол. – Х. : ХНУПС,  
2023. – 104 с.

Третя частина “Газотурбінні установки” є продовженням першої частини “Двигуни внутрішнього згоряння” і другої частини “Пересувні електростанції” навчального посібника “Енергетичні установки”, які вийшли друком у 2017 році та у 2019 році окремими виданнями відповідно.

Розглянуто основи теорії й принципи будови газотурбінних джерел енергії військових об'єктів спеціального призначення, особливості робочих процесів газотурбінних двигунів газотурбінних установок, а також основи їх будови та експлуатації.

Рекомендовано для курсантів і студентів вищих військових навчальних закладів, спеціалістів-електриків. Може бути корисним також для осіб, які використовують автономні джерела електричної енергії для електропостачання військових частин та підрозділів.

УДК 621.311.23

© Кононов Б. Т., Лагутін Г. І., Хабоша С. М.,  
Сокол О. М., 2023  
© Харківський національний університет  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2023

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	6
ПЕРЕДМОВА .....	8
13. ТЕРМОДИНАМІЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК ..	9
13.1. Принцип дії газотурбінної установки та її основні агрегати .....	9
13.2. Прості робочі цикли газотурбінних установок .....	13
13.2.1. Цикл із підведенням тепла при постійному тиску та адіабатичному стисненні в компресорі .....	13
13.2.2. Цикл із підведенням тепла при постійному тиску та ізотермічному стисненні в компресорі .....	19
13.2.3. Цикли з підведенням тепла при постійному об'ємі .....	21
13.2.4. Цикли з підведенням тепла при постійній температурі .....	25
13.3. Складні робочі цикли газотурбінних установок .....	26
13.3.1. Цикл газотурбінної установки зі згорянням при постійному тиску та ступеневим стисненням у компресорі .....	27
13.3.2. Цикл газотурбінної установки зі ступеневим підведенням тепла та адіабатичним стисненням у компресорі .....	28
13.3.3. Цикл газотурбінної установки зі ступеневим підведенням тепла та ступеневим стисненням у компресорі .....	30
13.4. Термодинамічні цикли газотурбінних установок із використанням тепла відпрацьованих газів .....	32
13.4.1. Одноступеневий цикл із підведенням тепла при постійному тиску .....	32
13.4.2. Газотурбінна установка зі ступеневим підведенням тепла та ступеневим стисненням .....	34
13.4.3. Газотурбінні установки із зовнішнім нагріванням .....	36
Питання для самостійної підготовки .....	37
14. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ .....	38
14.1. Визначення параметрів елементів компресора .....	38
14.1.1. Визначення параметрів повітря на виході з робочого колеса .....	38
14.1.2. Дифузори та вихідні пристрої .....	39
14.1.3. Визначення коефіцієнта корисної дії компресора .....	40
14.2. Визначення параметрів елементів турбіни .....	41
14.2.1. Визначення параметрів процесу перетворення енергії в сопловому апараті .....	41
14.2.2. Перетворення енергії на робочих лопатях турбіни .....	42
14.2.3. Робота газів на лопатях турбіни .....	43
14.2.4. Коефіцієнт корисної дії ступеня турбіни .....	44
Питання для самостійної підготовки .....	46
15. ПРОЦЕСИ ЗГОРЯННЯ ПАЛЬНОГО В КАМЕРАХ ЗГОРЯННЯ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК .....	47

15.1. Рівняння матеріального і теплового балансів .....	47
15.2. Процеси згоряння .....	51
15.3. Втрати в камерах згоряння .....	52
Питання для самостійної підготовки .....	54
<b>16. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК .....</b>	<b>55</b>
16.1. Загальні відомості про газотурбінні установки .....	55
16.2. Типові конструктивні схеми газотурбінних установок .....	60
16.3. Визначення основних характеристик газотурбінних установок .....	61
16.4. Напрямки вдосконалення газотурбінних установок .....	63
Питання для самостійної підготовки .....	64
<b>17. ГАЗОТУРБІННІ ДВИГУНИ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК .....</b>	<b>65</b>
17.1. Призначення, склад, основні характеристики газотурбінного двигуна 9И56 .....	65
17.2. Будова і робота складових частин газотурбінного двигуна 9И56 .....	68
17.2.1. Компресор газотурбінного двигуна 9И56 .....	68
17.2.2. Камера згоряння газотурбінного двигуна 9И56 .....	69
17.2.3. Турбіна газотурбінного двигуна 9И56 .....	70
17.2.4. Редуктор газотурбінного двигуна 9И56 .....	70
17.2.5. Система очищення повітря газотурбінного двигуна 9И56 .....	70
17.2.6. Система змащення газотурбінного двигуна 9И56 .....	71
17.2.7. Система паливоживлення й регулювання газотурбінного двигуна 9И56 .....	72
17.2.8. Система електроустаткування газотурбінного двигуна 9И56 .....	72
17.3. Особливості експлуатації газотурбінного двигуна 9И56 .....	73
17.3.1. Загальні вказівки .....	73
17.3.2. Холодне прокручування двигуна .....	73
17.3.3. Запуск двигуна .....	74
17.3.4. Нагляд під час роботи двигуна .....	75
17.3.5. Зупинення двигуна .....	75
17.3.6. Особливості осінньо-зимової та весняно-літньої експлуатації .....	76
17.3.7. Переведення паливної системи з одного виду пального на інший та регулювання насоса-регулятора .....	76
17.3.8. Переведення системи змащення з одного виду масла на інший .....	77
17.3.9. Особливі випадки експлуатації .....	77
17.4. Особливості технічного обслуговування газотурбінного двигуна 9И56 .....	78
17.4.1. Види та періодичність технічного обслуговування .....	78
17.4.2. Перелік робіт при різних видах технічного обслуговування .....	78
Питання для самостійної підготовки .....	79
<b>18. ГАЗОТУРБІННІ АГРЕГАТИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ КОМПЛЕКСІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ .....</b>	<b>81</b>
18.1. Призначення, склад, основні характеристики системи автономного електропостачання 5С18 .....	83

18.2. Будова і робота складових частин системи автономного електропостачання 5С18.....	85
18.2.1. Газотурбінний електричний агрегат живлення ГАП-65А1.....	85
18.2.2. Генератор відбору потужності ГОМ-20.....	89
18.2.3. Регулятор напруги РН-20.....	90
18.2.4. Контейнер апаратури КА-111А.....	92
18.2.5. Пульт керування ПУ-111.....	93
18.3. Особливості експлуатації системи автономного електропостачання 5С18.....	95
18.3.1. Вказівки щодо заходів безпеки.....	95
18.3.2. Підготовка до роботи системи автономного електропостачання.....	96
18.3.3. Порядок роботи в режимі місцевого керування.....	97
18.4. Особливості технічного обслуговування системи автономного електропостачання 5С18.....	99
18.4.1. Види та періодичність технічного обслуговування.....	99
18.4.2. Перелік робіт при різних видах технічного обслуговування.....	99
Питання для самостійної підготовки.....	100
ПІСЛЯМОВА.....	101
ЛІТЕРАТУРА.....	102



## ПЕРЕДМОВА

Перед вами третя частина навчального посібника "Енергетичні установки", яка присвячена розгляду газотурбінних джерел електричної енергії та їх складових частин.

Газотурбінні двигуни використовують у складі малогабаритних потужних джерел електричної енергії для мобільних комплексів озброєння й військової техніки, що виконують завдання як у мирний час, так і в умовах ведення бойових дій. Згідно з цим у третій частині навчального посібника розглянуті термодинамічні основи роботи газотурбінних установок, визначення параметрів елементів газотурбінних двигунів та основні процеси, які відбуваються при їх роботі. Крім того, у третій частині навчального посібника наведені загальні відомості щодо будови, особливостей експлуатації й технічного обслуговування газотурбінних двигунів та газотурбінних агрегатів живлення як у пунктах постійної дислокації, так і в зоні ведення бойових дій.

Розділи 13, 14, 15 написані Б. Т. Кононовим, заслуженим діячем науки і техніки України, доктором технічних наук, професором. Передмова, післямова, розділи 16, 17 написані Г. І. Лагутіним, кандидатом технічних наук, доцентом, розділ 17 написаний сумісно С. М. Хабошею та О. М. Соколом.

Сподіваємося, що розглянутий матеріал сприятиме здобуттю тими, хто навчається, необхідних знань і певних навичок проведення заходів експлуатації та ремонту енергетичних установок, спрямованих на забезпечення безперебійного постачання споживачів електричною енергією в мирний час і в умовах ведення бойових дій.

Навчальний посібник розрахований на курсантів та студентів, які навчаються за електротехнічними напрямками, а також на фахівців, які спеціалізуються в галузі систем електропостачання.

*Навчальне видання*

**КОНОНОВ Борис Тимофійович**  
**ЛАГУТІН Геннадій Іванович**  
**ХАБОША Сергій Миколайович**  
**СОКОЛ Олексій Миколайович**

## **ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ**

**Частина 3**

### **ГАЗОТУРБІННІ УСТАНОВКИ**

**Навчальний посібник**

*Редактор Х. С. Дрозд*  
*Техн. редактор Т. В. Василенко*  
*Коректор Н. К. Гур'єва*  
*Комп'ютерне верстання Г. І. Лагутіна*

Підп. до друку *04.07.2023*. Формат 60×84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 6,05.  
Тираж 100 пр. Зам. №

**Видавець і виготовлювач**  
**Харківський національний університет**  
**Повітряних Сил імені Івана Кожедуба**  
**61023, м. Харків, вул. Сумська, 77/79**  
**Свідоцтво суб'єкта видавничої справи**  
**ДК № 5370 від 30.06.2017 р**