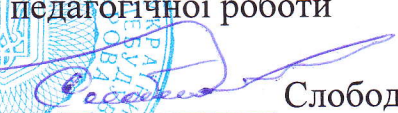


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова
МАШИНОБУДІВНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТУРБІН



ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-
педагогічної роботи


Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Program of the Discipline

**Підвищення ефективності схем, циклів
та елементів газотурбінних агрегатів**

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF SCHEMES, CYCLES
AND ELEMENTS OF GAS TURBINE UNITS**

рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

тип дисципліни: вибіркова

мова(и) викладання: українська

Робоча програма навчальної дисципліни "Підвищення ефективності схем, циклів та елементів газотурбінних агрегатів" як вибіркового курсу є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 14 "Електрична інженерія" спеціальності 142 "Енергетичне машинобудування".

01 вересня 2021 року. – 17 с.

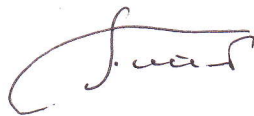
Розробник:

Чередніченко О.К., професор кафедри експлуатації СЕУ та теплоенергетики, д-р техн. наук, доцент.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Підвищення ефективності схем, циклів та елементів газотурбінних агрегатів" розглянуто на засіданні кафедри турбін.

Протокол № 9 від « 22 » 06 2021 р.

Завідувач кафедри



Патлайчук В.М.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Підвищення ефективності схем, циклів та елементів газотурбінних агрегатів" розглянуто Методичною комісією Машинобудівного навчально-наукового інституту.

Протокол № 01 від « 26 » 08 2021 р.

Голова



Сербін С.І.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Підвищення ефективності схем, циклів та елементів газотурбінних агрегатів" погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу



Лабарткава А.В.

Робоча програма навчальної дисципліни "Підвищення ефективності схем, циклів та елементів газотурбінних агрегатів" затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 7 від « 26 » 08 2021 р.

Голова НМР НУК



Трушляков Є.І.

© НУК, 2021

Зміст

Вступ	4
1. Опис навчальної дисципліни	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни	5
3. Передумови для вивчення дисципліни	6
4. Очікувані результати навчання	6
5. Програма навчальної дисципліни	6
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	11
7. Форми поточного та підсумкового контролю	11
8. Критерії оцінювання результатів навчання	13
9. Засоби навчання	14
10. Рекомендовані джерела інформації	14

ВСТУП

Анотація

Дисципліна спрямована на освоєння сучасних знань і методів підвищення ефективності теплових схем, термодинамічних циклів та ефективності окремих елементів газотурбінних агрегатів, а також на отримання практичних навичок при проведенні теоретичних досліджень в галузі газотурбобудування.

Дисципліна повинна ознайомити студентів з особливостями конструкції, перспективними схемами та термодинамічними циклами суднових та стаціонарних газотурбінних і парогазових установок, зі шляхами підвищення техніко-економічної ефективності окремих елементів газотурбінних агрегатів, принципами математичного моделювання процесів інтенсифікації теплообмінних процесів в елементах суднових та стаціонарних установок, перспективами поліпшення екологічних властивостей газотурбінних двигунів.

Ключові слова: газотурбінний агрегат, парогазова установка, термодинамічний цикл, тепла схема, ефективність.

Abstract

The discipline is aimed at mastering modern knowledge and methods to improve the efficiency of thermal schemes, thermodynamic cycles and efficiency of individual elements of gas turbine units, as well as to gain practical skills in conducting theoretical research in the field of gas turbine construction.

The discipline should acquaint students with modern and promising schemes and thermodynamic cycles of marine and stationary gas turbines, combined cycle power plants, ways to improve the technical and economic efficiency of individual elements of gas turbine units, the principles of mathematical modeling of intensification of heat exchange processes of gas turbine engines.

Keywords: gas turbine unit, combined cycle power plant, thermodynamic cycle, thermal scheme, efficiency.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Галузь знань: 14 "Електрична інженерія" Спеціальність: 142 "Енергетичне машинобудування" (освітня програма "Енергетичне машинобудування")	Вибіркова	
Модулів – 1		Рік підготовки:	
Змістових модулів – 2		2-й	2-й
Електроний адрес РПНД на сайті Університету:			
Загальна кількість годин – 120		Семестри	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3; самостійної роботи студента – 5.	Освітній рівень: третій (освітньо-науковий)	3-й	3-й
		Лекції	
		30 год	30 год
		Практичні заняття	
		15 год	15 год
		Самостійна робота	
		75 год	75 год
		Індивідуальні завдання	
		–	–
		Вид контролю: залік	
Форма контролю: комбінована			

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни "Підвищення ефективності схем, циклів та елементів газотурбінних агрегатів" є освоєння сучасних знань і методів підвищення ефективності теплових схем, термодинамічних циклів та ефективності окремих елементів газотурбінних агрегатів, а також отримання практичних навичок при проведенні теоретичних досліджень в галузі газотурбобудування.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовою для вивчення дисципліни є дисципліни:

- "Методологія наукових досліджень та педагогічної діяльності";
- "Актуальні проблеми енергетичного машинобудування";
- "Раціональні та екологічно чисті методи перетворення енергії в

енергомашинобудуванні".

4. Очікувані результати навчання

Внаслідок вивчення дисципліни "Підвищення ефективності схем, циклів та елементів газотурбінних агрегатів" студент повинен знати особливості конструкції, перспективні схеми та термодинамічні цикли суднових та стаціонарних газотурбінних і парогазових установок, знати шляхи підвищення техніко-економічної ефективності окремих елементів газотурбінних агрегатів, принципи математичного моделювання процесів інтенсифікації теплообмінних процесів в елементах суднових та стаціонарних установок, перспективи поліпшення екологічних властивостей газотурбінних двигунів.

5. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Теплові схеми та термодинамічні цикли газотурбінних агрегатів

Тема 1. Недоліки енергоустановок с ГТА простого циклу та шляхи їх подолання [2]. стр. 83-91, [3]. стр. 20-27

Тема 2. ГТА з регенеративним підігрівом повітря перед камерою згоряння випускними газами [2]. стр. 91-96, [3]. стр. 152-158, [5]. стр. 41-44, [6]. стр. 70-77.

Тема 3. ГТА з проміжним охолодженням повітря між компресорами [2]. стр. 96-102, [3]. стр. 158-164, [5]. стр. 44-52, [6]. стр. 78-87.

Тема 4. ГТА із проміжним підігрівом повітря між турбінами [2]. стр. 102-107, [3]. стр. 164-166, [5]. стр. 53-67, [6]. стр. 90-101.

Тема 5. ГТА із утилізацію тепла випускних газів [3]. стр. 166-174., [5]. стр. 68-81, [6]. стр. 102-123.

Тема 6. Розрахунок параметрів ГТА з теплоутилізаційним контуром [2]. стр. 108-139.

Тема 7. Контактні газотурбінні установки з теплоутилізаційним контуром [2]. стр. 139-157, [3]. стр. 174-180, [5]. стр. 90-97, [6]. стр. 125-136.

Змістовий модуль 2. Підвищення ефективності елементів газотурбінних агрегатів

Тема 8. Використання системи регулювання радіального зазору турбін ГТА [4]. стр. 122-128.

Тема 9. Розробка та експлуатація енергетичних ГТА на магнітних підшипниках [4]. стр. 82-103.

Тема 10. Застосування щіткових ущільнень в системі охолодження дисків турбіни [4]. стр. 132-135.

Тема 11. Активне управління жорсткістю опорних вузлів роторів [4]. стр. 53-65.

Тема 12. Удосконалення систем охолодження лопаток сучасних ГТА [4]. стр. 19-45.

Тема 13. Удосконалення систем охолодження дисків газових турбін [4]. стр. 65-72.

Тема 14. Підвищення несучої здатності лопаток осьових компресорів [1]. стр. 75-83, [4]. стр. 4-19.

Тема 15. Сучасні підходи до моделювання нестационарного теплогідравлічного стану високотемпературних турбін [2]. стр. 249-267.

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	пр.	лаб	с.р.		л	пр.	лаб	с.р.
Змістовий модуль 1. Теплові схеми та термодинамічні цикли газотурбінних агрегатів										
Тема 1. Недоліки енергоустановок с ГТА простого циклу та шляхи їх подолання.	8	2	–	–	6	8	2	–	–	6
Тема 2. ГТА з регенеративним підігрівом повітря перед камерою згоряння випускними газами.	8	2	2	–	4	8	2	2	–	4
Тема 3. ГТА з проміжним	9	2	2	–	5	9	2	2	–	5

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	пр.	лаб	с.р.		л	пр.	лаб	с.р.
охолодженням повітря між компресорами.										
Тема 4. ГТА із проміжним підігрівом повітря між турбінами.	9	2	2	–	5	9	2	2	–	5
Тема 5. ГТА із утилізацію тепла випускних газів.	9	2	2	–	5	9	2	2	–	5
Тема 6. Розрахунок параметрів ГТА з теплоутилізаційним контуром.	9	2	2	–	5	9	2	2	–	5
Тема 7. Контактні газотурбінні установки з теплоутилізаційним контуром.	8	2	2	–	4	8	2	2	–	4
Разом за змістовим модулем 1	60	14	12	–	34	60	14	12	–	34
Змістовий модуль 2. Підвищення ефективності елементів газотурбінних агрегатів										
Тема 8. Використання системи регулювання радіального зазору турбін ГТА.	8	2	1	–	5	8	2	1	–	5
Тема 9. Розробка та експлуатація енергетичних ГТА на магнітних підшипниках.	7	2	–	–	5	7	2	–	–	5
Тема 10. Застосування щіткових ущільнень в системі охолодження дисків турбіни.	8	2	–	–	6	8	2	–	–	6
Тема 11. Активне управління жорсткістю опорних вузлів роторів.	7	2	–	–	5	7	2	–	–	5
Тема 12. Удосконалення систем охолодження лопаток сучасних ГТА.	8	2	2	–	4	8	2	2	–	4
Тема 13. Удосконалення систем охолодження дисків газових турбін.	7	2	–	–	5	7	2	–	–	5
Тема 14. Підвищення несучої здатності лопаток осевих компресорів.	8	2	–	–	6	8	2	–	–	6
Тема 15. Сучасні підходи до моделювання нестационарного теплогідравлічного стану високотемпературних турбін.	7	2	–	–	5	7	2	–	–	5
Разом за змістовим модулем 2	60	16	3	–	41	60	16	3	–	41
Усього годин	120	30	15	–	75	120	30	15	–	75

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	ГТА з регенеративним підігрівом повітря перед камерою згоряння випускними газами.	2	2
2	ГТА з проміжним охолодженням повітря між компресорами.	2	2
3	ГТА із проміжним підігрівом повітря між турбінами.	2	2
4	ГТА із утилізацію тепла випускних газів.	2	2
5	Розрахунок параметрів ГТА з теплоутилізаційним контуром.	2	2
6	Контактні газотурбінні установки з теплоутилізаційним контуром.	2	2
7	Використання системи регулювання радіального зазору турбін ГТА.	1	1
8	Удосконалення систем охолодження лопаток сучасних ГТА.	2	2
РАЗОМ		15	15

Самостійна робота

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної та заочної форм навчання:

- підготовка до лекційних занять – 0,5 год/1 год. занять (1 година на 1 лекцію);
- підготовка до практичних занять – 2 год/1 заняття;
- написання рефератів, есе, виконання розрахункових, розрахунково-графічних або графічних робіт, домашньої контрольної роботи, перекладу, аналітичний огляд, аналіз практичних, проблемних ситуацій (обсяг однієї роботи 10-20 аркушів А4) – мінімум 15 годин на 1 роботу;
- підготовка до контрольних заходів – (15-30) год. на 1 захід.

Розподіл часу самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Підготовка до лекцій	15	15
2	Підготовка до практичних занять	16	16
3	Підготовка рефератів/аналітичних оглядів	14	14
4	Підготовка до заліку	30	30
РАЗОМ		75	75

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

Набуття здобувачами компетенцій забезпечується через засвоєння навчального матеріалу у вигляді лекційних, практичних занять та самостійної роботи студентів.

Основними методами навчання з дисципліни є:

1. Пояснювально-ілюстративний метод, за допомогою повідомлення та засвоєння інформації на лекційних та практичних заняттях словесними й наочними засобами.

2. Проблемний метод, коли на практичних заняттях утворюються пошукові ситуації, розвивається активність, самостійність, творчі здібності здобувачів освіти.

Як наочний матеріал на лекціях застосовуються мультимедійні слайди та лекційні демонстрації.

З метою роз'яснення найбільш складних питань дисципліни та підвищення якості виконання завдань практичних робіт проводяться групові та індивідуальні консультації за розкладом кафедри.

Під час карантину заняття повністю проводяться дистанційно в режимі відеоконференцій за допомогою онлайн-платформи Zoom.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з дисципліни "Підвищення ефективності схем, циклів та елементів газотурбінних агрегатів" є:

- усні відповіді на практичних заняттях;
- підготовка реферату/аналітичного огляду;
- залік.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного заліку. У кожного компонента своя частка в загальній системі оцінок. У проміжних оцінках студент може набрати максимум **60 балів**. Під компонентом проміжних оцінок розуміються поточні оцінки протягом семестру (активність, участь в дискусіях; виконання завдань та інше).

Питома вага заключного заліку в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право здавати заключний залік надається студенту, якій з урахуванням отриманих балів проміжних оцінок і заключного заліку може набрати разом не менше **60 балів**. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки заліку.

Залік відбувається у усній формі шляхом відповіді на 4 питання залікового білету. За відповідь на кожне питання студент може отримати максимум 10 балів.

Поточний контроль проводиться на кожному практичному занятті та за результатами виконання завдань самостійної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) під час роботи на практичних заняттях.

Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Відповіді на практичних заняттях	8 x 5 бали = 40 балів	8 x 5 бали = 40 балів
Підготовка реферату/аналітичного огляду	1 x 20 балів = 20 балів	1 x 20 балів = 20 балів
Залік	4 x 10 балів = 40 балів	4 x 10 балів = 40 балів
Всього	100	100

Відповіді на практичних заняттях	Критерії оцінювання
5	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки.
4	Відповідь в цілому правильна, достатньо повна, логічна; допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу
3	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована.
2	Відповідь має суттєві помилки, аргументи несформульовані, використовуються невірна термінологія.
1	Відповідь містить значну кількість суттєвих помилок.
0	Студент не дає відповіді.

Підготовка реферату/аналітичного огляду	Критерії оцінювання
20	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку науковому керівнику у відповідності із планом виконання.
15	Зміст роботи відповідає обраній темі; але вона виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання.
10	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень і лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
5	Студент виявляє знання і розуміння більшості положень, але лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
0	Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає пред'являємим вимогам. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.

Відповіді на питання заліку	Критерії оцінювання
10	Відповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає матеріал, показує глибокі знання з питання білету, під час доповіді впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання.
8	Студент спроможний чітко та стисло зробити доповідь, дає правильну відповідь на запитання білету, але не завжди упевнений в аргументації, чи не завжди коректно її формулює.

Відповіді на питання заліку	Критерії оцінювання
6	Студент спроможний чітко та стисло відповісти на питання білету, належно обґрунтовує матеріал, але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання.
4	Студент невпорядковано дає відповіді на питання білету, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати свою позицію, але надає неповні, поверхові, необґрунтовані відповіді на поставлені питання.
2	Студент невпорядковано дає відповідь на питання білету, не спроможний аргументувати свою позицію, не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії.
0	Студент не дає відповіді.

8. Критерії оцінювання результатів навчання

		Денне відділення		Заочне відділення	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
ЗМ1	T2	Практичне заняття №1	5	Практичне заняття №1	5
	T3	Практичне заняття №2	5	Практичне заняття №2	5
	T4	Практичне заняття №3	5	Практичне заняття №3	5
	T5	Практичне заняття №4	5	Практичне заняття №4	5
	T6	Практичне заняття №5	5	Практичне заняття №5	5
	T7	Практичне заняття №6	5	Практичне заняття №6	5
ЗМ2	T8	Практичне заняття №7	5	Практичне заняття №7	5
	T12	Практичне заняття №8	5	Практичне заняття №8	5
ЗМ1, ЗМ2		Підготовка реферату / аналітичного огляду	20	Підготовка реферату / аналітичного огляду	20
Підсумковий контроль		Залік	40	Залік	40
Сума			100		100

9. Засоби навчання

У спеціальних засобах навчання потреби немає.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Седько М.П. Основи проектування компресорів суднових ГТД: навч. посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 292 с.
2. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів: навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 304 с.
3. Романовський, Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Газотурбінні агрегати: у 2 ч. Ч. 1. Загальна будова та класифікація. – Миколаїв: НУК, 2016. 216 с.
4. Романовський, Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Газотурбінні агрегати: у 2 ч. Ч. 2. Елементи конструкцій. Миколаїв: НУК, 2017. 198 с.
5. Романовський, Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 1. Агрегати виробництва України та Росії. Миколаїв: НУК, 2005. 344 с.
6. Романовський, Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 2. Агрегати виробництва країн Західної Європи, Америки та Азії. Миколаїв: НУК, 2008. 420 с.

Допоміжна література

1. Ануров Ю.М., Литвинов Є.В. Розробка та експлуатація серійних енергетичних ГТУ на магнітних підшипниках. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2009. № 4 (40). С. 20-24.
2. Богуслаєв В.А., Лук'яненко О.Л., Пухальська Г.В. Підвищення несучої здатності лопаток компресора. *Прогресивні технології і системи машинобудування*: Міжн. збірник наукових праць. Донецьк: ДонНТУ, 2005. Вип. 32. С. 19-28.
3. Зіньківський А.П., Рублевський А.В., Іванов С.А., Бандурко Є.А., Занін А.Є. Застосування щіткових ущільнень у системі охолодження дисків турбіни для

покращення характеристик газотурбінного енергоприводу AI2500. *Вісник двигунобудування*. 2008. № 3. С. 49-53.

4. Кравченко І.Ф., Зелений Ю.А., Клімік Р.Р., Резнік С.Б., Хоменко С.І. Аналіз впливу конструктивного вигляду корпусу турбіни на ефективність системи регулювання радіального зазору. *Авіаційно-космічна техніка та технологія*. 2009. № 10 (67). С. 85-89.
5. Леонтьєв М.К., Фоміна О.М. Активне керування жорсткістю опорних улов роторів. Динамічний аналіз. *Вісник двигунобудування*. 2009. № 3. С. 56-61.
6. Халатов А.А., Борисов І.І., Дашевський Ю.А. Системи охолодження лопаток сучасних ГТД. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2009. № 4 (40). С. 24-29.

Інформаційні ресурси в Інтернет

1. Google Академія: пошукова система і некомерційна бібліометрична база даних, що індексує наукові публікації та наводить дані про їх цитування. URL: <https://scholar.google.com.ua/>.
2. Каталог нормативних документів України. URL: <http://csm.kiev.ua>.
3. Сайт International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/>.
4. Сайт World Nuclear Association. URL: <https://www.world-nuclear.org/>.
5. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. URL: <http://znp.nuos.mk.ua/>.
6. Сайт науково-технічного журналу "Turbomachinery International". URL: <https://www.turbomachinerymag.com/>.
7. Сайт науково-технічного журналу "Power Technology". URL: <https://www.power-technology.com/?cf-view>.
8. Сайт науково-технічного журналу "Gas Turbine World". URL: <http://gasturbineworld.com>.
9. Сайт журналу "Компресорне і енергетичне машинобудування". URL: <http://mikem.com.ua/zhurnal.html>.
10. Сайт журналу "Проблеми машинобудування". URL: <https://journal-me.com>.
11. Сайт журналу "Вісник Національного технічного університету

- "Харківський політехнічний інститут". Серія: "Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування". URL: <http://etpo.khpi.edu.ua>.
12. Сайт журналу "Вісник Вінницького політехнічного інституту". URL: <https://journals.vntu.edu.ua/uk.html#visnyk>.
13. Сайт журналу "Вісник Приазовського державного технічного університету". Серія: "Технічні науки". URL: http://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech.
14. Сайт журналу "Техніка та енергетика". URL: <https://technicalscience.com.ua/uk>.