

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

Код РПНД Т83630

ЗАТВЕРДЖЕНО
Проректор з науково-педагогічної роботи

Сергій СЛОБОДЯН

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Program of the Discipline

Режими роботи та характеристики газотурбінних установок
OPERATING MODES AND CHARACTERISTICS
OF GAS TURBINE POWER PLANTS

рівень вищої освіти: другий (магістерський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

Робоча програма навчальної дисципліни "Режими роботи та характеристики газотурбінних установок" є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 14 "Електрична інженерія" спеціальності 142 "Енергетичне машинобудування" освітньої програми "Газотурбінні установки і компресорні станції".

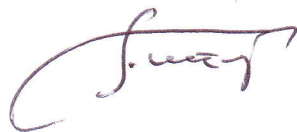
01 вересня 2022 року. – 17 с.

Розробник:

Ващиленко М.В., доцент кафедри турбін, канд. техн. наук, доцент.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Режими роботи та характеристики газотурбінних установок" узгоджено з гарантом освітньої програми "Газотурбінні установки і компресорні станції".

Гарант освітньої програми
канд. техн. наук, доцент

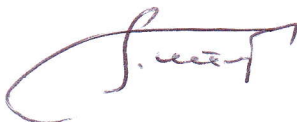


Володимир ПАТЛАЙЧУК

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Режими роботи та характеристики газотурбінних установок" розглянуто на засіданні кафедри турбін.

Протокол № 7 від «25» 04 2022р.

Завідувач кафедри

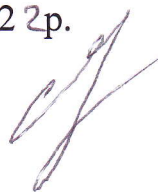


Володимир ПАТЛАЙЧУК

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Режими роботи та характеристики газотурбінних установок" розглянуто Методичною комісією Машинобудівного навчально-наукового інституту.

Протокол № 10 від «26» 05 2022р.

Голова



Сергій СЕРБІН

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Режими роботи та характеристики газотурбінних установок" погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу



Андрій ЛАБАРТКАВА

Робоча програма навчальної дисципліни "Режими роботи та характеристики газотурбінних установок" затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 6 від «29» 06 2022р.

Голова НМР НУК



Євген ТРУШЛЯКОВ

© НУК, 2022

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	12
8. Критерії оцінювання результатів навчання	13
9. Засоби навчання	14
10. Рекомендовані джерела інформації	15
11. Зміни та доповнення	17

ВСТУП

Анотація

Дисципліна спрямована на вивчення основних понять та принципів математичного моделювання та розрахунків часткових режимів роботи газотурбінних агрегатів, які входять до складу сучасних енергетичних установок, призначених для використання в енергетиці, промисловості та на морському транспорті.

Дисципліна повинна надати студентам глибинні професійні знання щодо основних термодинамічних та теплових процесів, що відбуваються в газотурбінних установках при роботі на часткових та перехідних режимах.

Внаслідок вивчення дисципліни студент буде мати уявлення про методи моделювання та розрахунку параметрів та характеристик газотурбінних установок на змінних режимах роботи, а також оцінювати зміну показників їх ефективності при будь-яких атмосферних умовах.

Ключові слова: газотурбінна установка, змінні режими роботи, характеристики турбін, характеристики компресорів, атмосферні умови.

Abstract

The course is aimed at studying the basic concepts and principles of mathematical modeling and calculations of partial modes of operation of gas turbine units, which are part of modern power plants designed for use in energy, industry and maritime transport.

The course should provide students with in-depth professional knowledge of the basic thermodynamic and thermal processes occurring in gas turbine power plants when working in partial and transient modes.

As a result of studying the discipline the student will have an idea of methods of modeling and calculation of parameters and characteristics of gas turbine power plants in variable modes of operation, as well as evaluate changes in their efficiency in any weather conditions.

Keywords: gas turbine power plant, variable modes of operation, characteristics of turbines, characteristics of compressors, atmospheric conditions.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів – 3	Газузь знань: 14 "Електрична інженерія"	Обов'язкова	
Модулів – 1	Спеціальність: 142 "Енергетичне машинобудування" Освітня програма: "Газотурбінні установки і компресорні станції"	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 2		1-й	1-й
Електронний адрес РПНД на сайті Університету:		Семестр:	
Загальна кількість годин – 90		1-й	1-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2; самостійної роботи студента – 4.	Освітній рівень: другий (магістерський)	Лекції	
		15 год	6 год
		Практичні заняття	
		15 год	6 год
		Самостійна робота	
		60 год	78 год
		Індивідуальні завдання	
		–	–
		Вид контролю: екзамен	
		Форма контролю: комбінована	

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни "Режими роботи та характеристики газотурбінних установок" є формування у студентів відповідно до освітньо-професійної програми таких **компетентностей**:

- ІК-1. Здатність розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у галузі енергетичного машинобудування.
- СК 01. Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки в сфері енергетичного машинобудування.
- СК 06. Здатність проектувати та експлуатувати енергетичне і теплотехнологічне обладнання.

- СК 09. Здатність розробляти фізичні й математичні моделі процесів в газотурбінних установках, а також в системах та механізмах, які їх обслуговують, з аналізом результатів і розробкою методик розрахунку.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумови для вивчення дисципліни відсутні.

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких **програмних результатів навчання**:

- РН1. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у галузі енергетичного машинобудування для розв'язування складних задач професійної діяльності.
- РН3. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або дослідницькі задачі під час проєктування, виготовлення і експлуатації енергетичного обладнання та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у інноваційних проєктах.
- РН8. Розробляти, обирати та застосовувати ефективні розрахункові методи розв'язання складних задач енергетичного машинобудування.

5. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Розв'язання задачі приведення параметрів газотурбінного двигуна до розрахункових (нормальних) атмосферних умов

Тема 1. Необхідність визначення параметрів газотурбінного агрегату на змінних режимах роботи. Теорія подібності в розрахункових і експериментальних

дослідженнях змінних режимів роботи газотурбінного двигуна [3]. стор. 249-255.

Тема 2. Формулювання задачі приведення параметрів газотурбінного двигуна до розрахункових (нормальних) атмосферних умов. Узагальнені параметри агрегатів газотурбінного двигуна [3]. стор. 255-258.

Тема 3. Рішення задачі приведення параметрів приводного газотурбінного двигуна до розрахункових атмосферних умов. Формули приведення [3]. стор. 258-263.

Тема 4. Побудова вихідної характеристики суднового газотурбінного двигуна. Залежність гранично припустимої потужності газотурбінного двигуна від температури зовнішнього повітря. Зміна ККД газотурбінного двигуна на режимах максимально припустимої потужності [3]. стор. 263-268.

Змістовий модуль 2. Дослідження роботи газотурбінного двигуна на режимах часткових навантажень

Тема 5. Призначення характеристик компресорів і турбін. Характеристики компресорів газотурбінних двигунів. Характеристики осьових турбін газотурбінних двигунів. Розрахунки характеристик турбін [2]. стор. 222-246, [3]. стор. 268-276.

Тема 6. Визначення параметрів компресорів і турбін газотурбінних двигунів на режимах часткових навантажень. Одержання основної системи рівнянь опису процесів у газотурбінному двигуні на змінних режимах [1]. стор. 201-214, [3]. стор. 276-285.

Тема 7. Рішення основної системи рівнянь опису процесів у газотурбінному двигуні на змінних режимах та одержання параметрів та характеристик газотурбінного двигуна на режимах часткових навантажень [3]. стор. 285-288.

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. Розв'язання задачі приведення параметрів газотурбінного двигуна до розрахункових (нормальних) атмосферних умов										
Тема 1. Необхідність визначення параметрів газотурбінного агрегату на змінних режимах роботи. Теорія подібності в розрахункових і експериментальних дослідженнях змінних режимів роботи газотурбінного двигуна.	15	2	2	–	11	15	1	–	–	14
Тема 2. Формулювання задачі приведення параметрів газотурбінного двигуна до розрахункових (нормальних) атмосферних умов. Узагальнені параметри агрегатів газотурбінного двигуна.	15	2	2	–	11	15	1	1	–	13
Тема 3. Рішення задачі приведення параметрів приводного газотурбінного двигуна до розрахункових атмосферних умов. Формули приведення.	15	2	2	–	11	15	1	1	–	13
Тема 4. Побудова вихідної характеристики суднового газотурбінного двигуна. Залежність гранично припустимої потужності газотурбінного двигуна від температури зовнішнього повітря. Зміна ККД газотурбінного двигуна на режимах максимально припустимої потужності.	15	2	2	–	11	15	–	1	–	14
Разом за змістовим модулем 1	60	8	8	–	44	60	3	3	–	53
Змістовий модуль 2. Дослідження роботи газотурбінного двигуна на режимах часткових навантажень										
Тема 5. Призначення характеристик компресорів і турбін. Характеристики компресорів газотурбінних двигунів. Характеристики осьових турбін газотурбінних двигунів. Розрахунки характеристик турбін.	10	2	3	–	5	10	1	1	–	8
Тема 6. Визначення параметрів компресорів і турбін газотурбінних двигунів на режимах часткових	10	2	2	–	6	10	1	1	–	8

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.
навантажень. Одержання основної системи рівнянь опису процесів у газотурбінному двигуні на змінних режимах.										
Тема 7. Рішення основної системи рівнянь опису процесів у газотурбінному двигуні на змінних режимах та одержання параметрів та характеристик газотурбінного двигуна на режимах часткових навантажень.	10	3	2	–	5	10	1	1	–	8
Разом за змістовим модулем 2	30	7	7	–	16	30	3	3	–	23
Разом за курсом	90	15	15	–	60	90	6	6	–	78

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Постановка задачі і вихідні дані дослідження впливу температури атмосферного повітря на характеристики ГТД	2	–
2	Розрахунок та побудова вихідної характеристики ГТД для різних температур зовнішнього повітря	2	1
3	Продовження розрахунку та побудови вихідної характеристики ГТД для різних температур зовнішнього повітря	2	1
4	Розрахунок та побудова залежності гранично припустимої потужності ГТД від температури зовнішнього повітря	2	1
5	Розрахунок та побудова залежності гранично припустимої потужності ГТД від температури зовнішнього повітря (продовження)	1	–
6	Розрахунок та побудова залежності зміни ККД ГТД на режимах максимально припустимої потужності від температури зовнішнього повітря	2	1
7	Розрахунок та побудова залежності зміни питомої витрати палива ГТД на змінних режимах роботи	2	1
8	Виконання письмового аналізу за результатами досліджень змінних режимів роботи ГТД. Оформлення пояснювальної записки	2	1
РАЗОМ		15	6

Самостійна робота

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

- підготовка до лекційних 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 10 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	7	6
2	Підготовка до практичних занять	16	12
3	Виконання розрахункових завдань	17	17
4	Написання реферату	–	23
5	Підготовка до екзамену	20	20
РАЗОМ		60	78

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 «Режими роботи та характеристики газотурбінних установок» є:

- усні та письмові відповіді на практичних заняттях;
- виконання розрахункових завдань;
- підготовка реферату;
- екзамен.

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 екзамену. 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).

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.

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

Екзамен проводиться у комбінованій формі (письмові відповіді та усний захист). До екзаменаційного білету входить чотири питання. Кожне питання оцінюється у 10 балів.

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 2 бали = 16 балів	–
Виконання розрахункових завдань	2 x 22 балів = 44 бали	2 x 22 балів = 44 бали
Підготовка реферату	–	1 x 16 балів = 16 балів
Екзамен	40 балів	40 балів
Всього	100	100

Відповідь на практичному занятті	Критерії оцінювання
2	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки.
1	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована.
0	Студент не дає відповіді або відповідь містить значну кількість суттєвих помилок.
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 16 (8 занять по 2 бали).</i>	

Виконання розрахункового завдання	Критерії оцінювання
18-22	Завдання виконане у встановлений термін. Студент самостійно проаналізував задачу і раціонально розв'язав її. Може розв'язувати комбіновані задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам.
12-17	Завдання виконане самостійно, але з порушенням встановлених термінів. Студент самостійно проаналізував задачу і раціонально розв'язав її. Може розв'язувати комбіновані задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам.
6-11	Завдання виконане з порушенням встановлених термінів. Студент навів потрібні формули та розв'язав задачу користуючись алгоритмом. Підготовлений звіт містить неточності у висновках та помилки.

Виконання розрахункового завдання	Критерії оцінювання
1-5	Студент виконав завдання, але розрахунок містить деякі помилки. Підготовлений звіт містить неточності у висновках та помилки.
0	Студент не виконав завдання.
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 44 (2 розрахункових завдання по 22 бали).</i>	

Підготовка реферату	Критерії оцінювання
14-16	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.
11-13	Зміст роботи відповідає обраній темі; але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання.
8-10	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.
5-7	Студент виявляє знання і розуміння більшості положень, але лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
0-4	Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає пред'являємим вимогам. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 16 (1 реферат).</i>	

Відповідь на питання екзамену	Критерії оцінювання
9-10	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.
7-8	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.
5-6	Студент спроможний чітко та стисло відповісти на питання білету, належно обґрунтовує матеріал, але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання.

Відповідь на питання екзамену	Критерії оцінювання
3-4	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.
1-2	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 на питання білету.
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 40 (4 питання по 10 балів)</i>	

8. Критерії оцінювання результатів навчання

		Денне відділення		Заочне відділення	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
ЗМ1	T1	Практичне заняття №1	2	—	—
	T2	Практичне заняття №2	2	—	—
	T3	Практичне заняття №3	2	—	—
	T4	Практичне заняття №4	2	—	—
	T1-T4	Виконання розрахункового завдання	22	Виконання розрахункового завдання	22
ЗМ2	T5	Практичне заняття №5	2	—	—
		Практичне заняття №6	2	—	—
	T6	Практичне заняття №7	2	—	—
	T7	Практичне заняття №8	2	—	—
	T5-T7	Виконання розрахункового завдання	22	Виконання розрахункового завдання	22
ЗМ1-ЗМ2		—	—	Підготовка реферату	16
Підсумковий контроль		Екзамен	40	Екзамен	40
Сума			100		100

9. Засоби навчання

1. Мультимедійне обладнання.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Збірник завдань та вправ з теорії і проектування турбінних агрегатів : навч. посібник / Г.Ф. Романовський, С.І. Сербін, М.В. Ващиленко, М.П. Седько, В.М. Патлайчук, В.І. Харченко. Миколаїв : Вид-во НУК, 2012. 248 с.
2. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Седько М.П. Основи проектування компресорів суднових ГТД : навч. посібник. Миколаїв : Вид-во НУК, 2008. 292 с.
3. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 304 с.

Допоміжна література

1. Ващиленко М.В. Оптимізаційні розрахунки термодинамічних циклів суднових і енергетичних ГТА в задачах автоматизованого проектування : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 44 с.
2. Ващиленко Н.В. Выбор оптимальных термодинамических параметров судовых ГТД с использованием ЕС ЭВМ : учебное пособие. Николаев : НКИ, 1985. 42 с.
3. Ващиленко Н.В. Тепловые расчеты судовых газотурбинных и газопаротурбинных агрегатов с использованием ЕС ЭВМ : учебное пособие. Николаев : НКИ, 1987. 46 с.
4. Романовський Г.Ф., Іпатенко О.Я., Патлайчук В.М. Теорія та розрахунок парових і газових турбін : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2002. 292 с.
5. Сербін С.І., Седько М.П. Газодинамічний розрахунок осьового компресора з використанням ПЕОМ : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 1999. 51 с.
6. Сорока Я.Х. Теория и проектирование судовых газотурбинных двигателей : учебное пособие. Л. : Судостроение, 1982. 112 с.

Інформаційні ресурси в Інтернет

1. Каталог національних стандартів та кодексів усталеної практики ДП «УкрНДНЦ». URL: <http://uas.org.ua/ua/natsionalniy-fond-normativnih-dokumentiv/katalog-normativnih-dokumentiv-2/>.
2. Сайт науково-технічного журналу "Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова". URL: <http://znp.nuos.mk.ua/>.
3. Сайт науково-технічного журналу "Shipbuilding and marine infrastructure". URL: <http://smi.nuos.mk.ua/>.
4. Сайт науково-технічного збірника "Суднові енергетичні установки" Національного університету "Одеська морська академія". URL: http://old.onma.edu.ua/index.php?nauka-seu_ua#theme.
5. Сайт науково-технічного журналу "Науковий вісник Херсонської державної морської академії". URL: <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma>.
6. Сайт науково-технічного журналу "Ukrainian Shipbuilding & Ship Repair Magazine / Судостроение и судоремонт". URL: <http://sudostroy.com>.

11. Зміни та доповнення