МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова
КОРАБЛЕБУДІВНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА БУДІВЕЛЬНОЇ МЕХАНІКИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСУ КОРАБЛЯ

Код РПНД

ЗАТВЕРДЖЕНО
Директор з науково-
педагогічної роботи
_____ Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів

Special questions of the buckling of elastic systems and their elements

Рівень вищої освіти - магістерський

Тип дисципліни - вибіркова

Мова викладання - українська

Миколаїв – 2022

Робоча програма навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» є однією із складових комплексної підготовки фахівців
галузі знань 13 - Механічна інженерія,
спеціальності 135 - Суднобудування
за освітньо-професійною програмою «Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд».
«29» серпня 2022 р. – 19 с.

Розробник: професор, доктор технічних наук Коростильов Л.І.

Проєкт робочої програми навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» узгоджено з гарантом освітньої програми спеціальності 135 – Суднобудування.

Гарант освітньої програми: д. т. н, професор Коростильов Л.І.

Проєкт робочої програми навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» розглянуто на засіданні кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля.
Протокол № 1 від « 29 » серпня 2022 року.

Завідувач кафедри Коростильов Л.І.

Проєкт робочої програми навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» розглянуто науково-методичною комісією Кораблебудівного навчально-наукового інституту.
Протокол № 8 від «29 » серпня 2022 року.

Голова Бондаренко О.В.

Проєкт робочої програми навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу Лабарткава А.В.

Робоча програма навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» затверджена Науковою радою НУК.
Протокол № 10 від «28» грудня 2022 р.

Голова НМР НУК Трушляков Є І.

© НУК, 2022

ЗМІСТ

Вступ …… 4
1. Опис навчальної дисципліни …… 5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни …… 6
3. Передумови для вивчання дисципліни …… 6
4. Очікуванні результати навчання …… 6
5. Програма навчальної дисциплін …… 7
6 Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування…….. 12
7. Форми поточного та підсумкового контролю …… 12
8. Критерії оцінювання результатів навчання …… 14
9. Рекомендовані джерела інформації …… 15

ВСТУП

Анотація

Оцінка стійкості конструкцій та їх елементів розглядалась при вивченні дисциплін «Опір матеріалів» і «Будівельна механіка корабля» при підготовці бакалаврського рівня вищої освіти. Але в цих курсах розглядалися прості конструкції та їх елементи при дії типових навантажень, у більшості, в умовах пружного деформування.

Реально на практиці часто маємо справу з пружно-пластичним деформуванням при оцінках стійкості деформівних систем. До того ж конструкції та їх елементи можуть знаходиться в умовах одночасної дії декількох видів простих навантажень. Урахування пружно-пластичного деформування при розрахунках на стійкість і умов складних навантажень на конструкції та їх елементи дозволяє розширити рівень знань і забезпечить підвищення достовірності отриманих результатів розрахунку при оцінках стійкості конструкцій в реальних умовах експлуатації.

Ключові слова: конструктивні елементи, конструкція, складне навантаження, стійкість, пружно-пластичне деформування.

Annotation

The assessment of the buckling of structures and their elements was considered during the study of the disciplines "Strength of materials" and "Ship structural mechanics" during the preparation of the bachelor's level of higher education. But in these courses calculations were considered of simple structures and their elements under the action of typical loads, in most cases, under conditions of elastic deformation.

In reality, in practice, we often deal with elastic-plastic deformation when evaluating the buckling of deformable systems. In addition, structures and their elements can be under the conditions of simultaneous action of several types of simple loads. Taking into account elastic-plastic deformation during buckling calculations and taking into account complex loads on structures and their elements allows to expand the level of knowledge and will ensure an increase in the reliability of the obtained calculation results when assessing the buckling of structures in real operating conditions.

Keywords: structural elements, construction, complex load, buckling, elastic-plastic deformation.

1 ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів – 5</td><td rowspan="3">Галузь знань

Усі галузі знань</td><td colspan="2">Вибіркова</td></tr>
<tr><td>Модулів – 1</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 5</td><td>1-й</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Електронний адрес РПНД на сайті Університету</td><td rowspan="6">Спеціальність

Усі спеціальності</td><td colspan="2">Семестри</td></tr>
<tr><td>2-й</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Індивідуальне науково-дослідне завдання – -</td><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин – 150</td><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 год.; самостійної роботи студента – 6 год.</td><td rowspan="5">Освітній рівень - другий (магістерський)</td><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальні завдання: -</td></tr>
<tr><td colspan="3">Вид контролю - залік</td></tr>
<tr><td colspan="3">Форма контролю – комбінована.</td></tr>
</table>

2 МЕТА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» є формування у студентів відповідно до освітньо-професійної програми таких компетентностей:

– розширення уявлень щодо поняття стійкості пружних систем;

– ознайомлення з теоретичними методами дослідження стійкості деформівних систем;

– розширення знань про оцінку стійкості стержнів і пластин при пружно-пластичному деформуванні;

– отримання знань з оцінки стійкості пружних систем в умовах одночасно дії декількох типів простих навантажень;

– ознайомлення з експериментальними методами дослідження стійкості стержнів і пластин.

3 ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Передумови для вивчення дисципліни не передбачені.

4 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

В результаті вивчення дисципліни студент вмітиме

– раціонально використовувати теоретичні методи в розрахунках стійкості пружних систем;

– обґрунтовано використовувати практичні рекомендації щодо врахування пружно-пластичного деформування стержнів і пластин;

– практично використовувати знання про властивості гранично поверхні (лінії) при оцінці стійкості пружних систем в умовах складного навантаження.

5 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Семестр ІІ

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Поняття стійкості деформівних систем та методи її дослідження

Тема 1. Рівновагові стани і стійкість форми деформівних систем

Елементи поняття стійкості і параметри рівновагового стану деформівних систем. Критичне ейлереве навантаження і напруження та критичне переміщення. Класифікація задач стійкості.

Література: [1] – с. 6-27; [6] – с. 5-11.

Тема 2. Типові криві рівновагових станів і відповідні деформівні системи

Характеристика типів залежностей «навантаження – переміщення»: поява нових (суміжних і не суміжних) рівновагових форм, а також зникнення рівновагових форм з появою коливань.

Література: [6] – с. 5-60, 66-92, 114-127.

Тема 3. Методи дослідження стійкості пружних деформівних систем

Загальна характеристика особливостей теоретичних статичних і динамічних методів дослідження стійкості (Ейлера, початкових неідеальностей, енергетичних, Чудновського) пружних систем, а також експериментальних з використанням специфічного обладнання.

Література: [2] – с. 33-67; [6] – с. 5-11.

Змістовий модуль 2. Стійкість стержнів при пружно-пластичному деформуванні

Тема 4. Стійкість стержнів з незмінним поперечним перерізом при стисканні в умовах пружного деформування

Диференціальне рівняння стійкості стержня і його рішення. Типові формули для визначення критичних ейлеревих сил і напружень при різних умовах закріплення стержня в кінцевих перерізах.

Література: [2] – с. 16-20, 22-32, 93-123; [5] – с. 11-21.

Тема 5. Стійкість стержнів з незмінним поперечним перерізом при стисканні в умовах пружно-пластичного деформування

Історична довідка про врахування пластичних деформацій при втраті стержнем стійкості. Дослідження Ламарлья, Енгессера, Ясинського та інших щодо врахування пружно-пластичного деформування при втратах стержнем стійкості. Концепція Шенлі і її практичне врахування при розрахунках стержнів на стійкість.

Література: [2] – с. 93-123; [3] – с. 148-172; [5] – с. 59-74; [6] – с. 140-147.

Тема 6. Методи дослідження стійкості стержнів при змінному поперечному перерізі стержня і стискуючій осьові силі

Загальна характеристика наближених методів (енергетичних, чисельних) визначення критичних сил (напружень) при пружному деформуванні і оцінка достовірності отриманих ними результатів.

Література: [2] – с. 124-131.

Тема 7. Практичні рекомендації щодо визначення дійсних критичних напружень стержнів із сталі і алюмінієво-магнієвих сплавів

Аналіз різних факторів на величину дійсних критичних напружень в стискуючих стержнях і оцінка їх практичного урахування. Рекомендації нормативних документів в суднобудуванні щодо визначення дійсних критичних напружень в стискуючих стержнях (балках).

Література: [11] – с. 35-39.

Змістовий модуль 3. Стійкість пластинчастих елементів тонкостінних конструкцій при пружному і пружно-пластичному деформуванні

Тема 8. Пружна стійкість прямокутних пластин при простих типах навантажень

Диференціальне рівняння стійкості пластини і його рішення при типових видах навантажень в її площині. Загальна структура формули для визначення критичних ейлеревих напружень пластинчастих елементів конструкцій корпусу судна при повздовжній і поперечних системах набору.

Література: [2] – с. 313-342; [3] – с. 290-324.

Тема 9. Пружна стійкість трикутних пластинчастих елементів (книць)

Диференціальне рівняння стійкості трикутної пластини і методи визначення критичних ейлеревих напружень. Розрахункові формули для визначення таких напружень і їх порівняння з експериментальними даними.

Література: [статті в наукових журналах].

Тема 10. Розрахунок на стійкість пластин при пружно-пластичних деформаціях

Особливості теоретичного розрахунку плоского напруженого стану при пружно-пластичному деформуванні пластини в умовах дії простих видів навантажень. Вплив різних факторів на величину дійсних критичних напружень. Практичні рекомендації щодо оцінки дійсних критичних напружень пластин корпусних конструкцій при повздовжній і поперечній системах набору.

Література: [2] – с. 394-444; [3] – с. 343-348; [11] – с. 35-39.

Тема 11. Стійкість прямокутних пластин великими вирізами

Особливості розрахунку на стійкість пластинчастих елементів з вирізами. Теоретичні методу розрахунку ейлеревих напружень і експериментальна перевірка результатів теоретичних розрахунків.

Література: [статті в наукових журналах].

Змістовий модуль 4. Стійкість пружних систем при одночасній дії декількох типів простих навантажень

Тема 12. Основні поняття і положення про стійкість пружних систем в умовах складного навантаження

Поняття про силовий зображуючий простір і властивості граничної поверхні, що розмежовує області стійкості і не стійкості пружної деформівної системи. Основні теореми професора П.Ф. Папковича про властивості граничної поверхні і можливості їх практичного використання.

Література: [2] – с. 394-443; [4] – с. 44-62.

Тема 13. Галузеві рекомендації щодо оцінки стійкості балок суднових конструкцій в умовах складних навантажень

Методики галузевих документів з оцінки стійкості балок з вирізами в умовах одночасної дії одновісного рівномірного стискання, згину в площині стінки і зсуві.

Література: [9] – с. 80-86; [10] – с. 40-45.

Змістовий модуль 5. Експериментальні методи визначення критичних навантажень стержнів і пластин

Тема 14. Класифікація експериментальних методів і обґрунтування їх використання

Статичні і динамічні методи (Саутвелла-Доннелла, Йошики, Хʼю, Чудновського) визначення критичних навантажень стержнів і пластин. Характеристика специфічності експериментального обладнання і оцінка надійності отриманих результатів

Література: [3] – с. 356-370; [5] – с. 59-74.

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Денна форма				
	Усього	у тому числі			
		лекц.	пр.	лаб.	с.р.
1	2	3	4	5	6
Семестр II Модуль 1					
Змістовий модуль 1. Поняття стійкості деформівних систем та методи її дослідження.					
Тема 1. Рівновагові стани і стійкість форми деформівних систем	7	2	-	-	5
Тема 2. Типові криві рівновагових станів і відповідні деформівні системи	7	2	-	-	5

Тема 3. Методи дослідження стійкості пружних деформівних систем	16	2	4	-	10
Разом за змістовим модулем 1	30	6	4	-	20
Змістовий модуль 2. Стійкість стержнів при пружно-пластичному деформуванні					
Тема 4. Стійкість стержнів з незмінним поперечним перерізом при стисканні в умовах пружного деформування	10	2	2	-	6
Тема 5. Стійкість стержнів з незмінним поперечним перерізом при стисканні в умовах пружно-пластичного деформування	12	4	2	-	6
Тема 6. Методи дослідження стійкості стержнів при змінному поперечному перерізі стержні і стискуючій осьові силі	13	2	4	-	7
Тема 7. Практичні рекомендації щодо визначення дійсних критичних напружень стержнів із сталі і алюмінієво-магнієвих сплавів	10	2	2	-	6
Разом за змістовим модулем 2	45	10	10	-	25
Змістовий модуль 3. Стійкість пластинчастих елементів тонкостінних конструкцій при пружному і пружно-пластичному деформуванні					
Тема 8. Пружна стійкість прямокутних пластин при простих типах навантажень	11	2	2	-	7
Тема 9. Пружна стійкість трикутних пластинчастих елементів (книць)	10	2	2	-	6
Тема 10. Розрахунок на стійкість пластин при пружно-пластичних деформаціях	13	2	4	-	7
Тема 11. Стійкість прямокутних пластин великими вирізами	11	2	2	-	7
Разом за змістовим модулем 3	45	8	10		27
Змістовий модуль 4. Стійкість пружних систем при одночасній дії декількох типів простих навантажень					
Тема 12. Основні поняття і положення про стійкість пружних систем в умовах складного навантаження	7	2	2	-	3
Тема 13. Галузеві рекомендації щодо оцінки стійкості балок суднових конструкцій в умовах складних навантажень	8	2	2	-	4
Разом за змістовим модулем 4	15	4	4	-	7
Змістовий модуль 5. Експериментальні методи визначення критичних навантажень стержнів і пластин					

Тема 14. Класифікація експериментальних методів і обґрунтування їх використання	15	2	2	-	11
Разом за змістовим модулем 5	15	2	2	-	11
Всього за весь курс дисципліни	150	30	30	-	90

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
Семестр II Модуль 1		
Змістовий модуль 1		
1,2	Визначення критичного ейлеревого навантаження стержня інтегруванням диференціального рівняння стійкості	4
Змістовий модуль 2		
3,4	Розрахунок на стійкість стержнів в умовах пружно-пластичного деформування	4
5,6,7	Визначення критичного ейлеревого навантаження стержнів зі змінним поперечним перерізом і повздовжнім навантаженням	8
8	Визначення критичних напружень стержня за рекомендаціями галузевих нормативних документів	2
Змістовий модуль 3		
9	Визначення критичних ейлеревих напружень прямокутних пластин суднокорпусних перекриттів	2
10	Розрахунок на стійкість трикутних пластинчастих елементів конструкцій (книць)	2
11	Розрахунок на стійкість прямокутних пластин при пружно-пластичних деформаціях	2
12,13	Визначення критичних ейлеревих напружень пластин з великими центральними вирізами	4
Змістовий модуль 4		
14,15	Перевірка стійкості пластинчастих елементів корпусних конструкцій за рекомендаціями галузевих нормативних документів	4
Всього за весь курс дисципліни		30

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
Семестр I		
1	Підготовка до лекцій	15
2	Підготовка до практичних занять	30
3	Підготовка до заліку	45
Всього за весь курс дисципліни		90

6 МЕТОДИ НАВЧАННЯ, ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ТА МЕТОДИ ЇХ ДЕМОНСТРУВАННЯ

Методами навчання є:

– лекції, спрямовані на формування нових знань;

– практичні заняття, які забезпечують накопичення вмінь з вирішення задач розрахунку на стійкість стержнів і пластинчастих елементів при пружному і пружно-пластичному деформуванні;

– контрольні тестові роботи по завершенні вивчення матеріалу відповідних тем дисципліни.

Засобами оцінювання та засобами демонстрування знань є:

– оцінка за тестові роботи по завершенні вивчення тем дисципліни;

– залік за вивченим матеріалом дисципліни в кінці семестру.

7 ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною шкалою Університету у кожному семестрі.

Підсумкова оцінка навчального дисципліни включає в себе оцінки з поточного контролю по темам і заключного заліку.

Питома вага заключного заліку складає ***50 балів***. Ще ***50 балів*** студент може отримати за виконання контрольних тестів по темам дисципліни, що в сумі з оцінкою заключного заліку складає ***100 балів***.

Поточний модульний контроль у формі тестування

Правильних відповідей, %	100	50	10
Семестр II Модуль 1 Змістовий модуль 1			
Тема 1, бали	2	1	0
Тема 2, бали	2	1	0
Тема 3, бали	2	1	0
Змістовий модуль 2			
Тема 4, бали	4	2	1
Тема 5, бали	4	2	1
Тема 6, бали	4	2	1
Тема 7, бали	4	2	1
Змістовий модуль 3			
Тема 8, бали	4	2	1
Тема 9, бали	4	2	1
Тема 10, бали	4	2	1
Тема 11, бали	4	2	1
Змістовий модуль 4			
Тема 12, бали	4	2	1
Тема 13, бали	4	2	1
Змістовий модуль 5			
Тема 14, бали	4	2	1

8 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Модуль	Змістовий модуль	Поточний контроль за темами	Денна форма
			Кількість балів
I	**ЗМ1**	Т1	2
		Т2	2
		Т3	2
	Всього за змістовим модулем 1		6
	ЗМ2	Т4	4
		Т5	4
		Т6	4
		Т7	4
	Всього за змістовим модулем 2		16
	ЗМ3	Т8	4
		Т9	4
		Т10	4
		Т11	4
	Всього за змістовим модулем 3		16
	ЗМ4	Т12	4
		Т13	4
	Всього за змістовим модулем 4		8
	ЗМ5	Т14	4
	Всього за змістовим модулем 5		4
	Залік		50
Всього за весь курс дисципліни			100

9 РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Проблемы устойчивости в строительной механике. Труды Всесоюзной конференции по проблемам устойчивости в строительной механике / под ред В.В. Болотина и др. М.: Стройиздат. 1965. – 488 с.
2. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука. 1967. – 984 с.
3. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. М. - Л.: ОГИЗ - Гостехиздат. 1946. – 532 с.
4. Папкович П.Ф. Труды по строительной механике корабля. В 4-х томах. Том 4. Л.: Судпромгиз. 1963. – 552 с
5. Ясинский Ф.С. Избранные работы по устойчивости сжатых стержней. М. - Л.: Гостехиздат, 1952. – 428 с.
6. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. М.: Наука, 1987. – 352 с.

Допоміжна література

7. Суслов В.П., Кочанов Ю.П., Спихтаренко В.Н. Строительная механика корабля и основы теории упругости: учебник. Л.: Судостроение, 1972. – 720 с.
8. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. М.: Гос. изд. физ.-мат. лит. 1961. – 340 с,
9. РД 5.1033-81. Спуск судов. Прочность корпусов и спусковых устройств. М.: Изд-во стандартов. 1981. – 165 с.
10. РД 5.1037-81. Набор судовой в районах резкого изменения сечений, изломов оси и узловых соединений. Вырезы в наборе. Нормы и правила проектирования. М.: Изд-во стандартов, 1981. – 75 с.
11. Регистр СССР. Нормы прочности морских судов. Л., 1991. – 98 с.

ДОДАТОК 2

Результати перегляду робочої програми навчальної дисципліни
«Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів»

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
1		
2		
…	Разом	

Розрахунково-графічні роботи

№ з/п	Назва розрахунково-графічної роботи	Кількість годин
1	2	3
1		
2		
…	Разом	

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
1		
2		
…	Разом	

Зміни до робочої програми навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» розглянуто на засідання кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля.

Протокол № ___ від «__» _____ 202_ р.

Завідувач кафедри БМ та ККК Л.І. Коростильов

Зміни до робочої програми навчальної дисципліни «Спеціальні питання стійкості пружних систем та їх елементів» узгоджено з гарантом освітньої програми спеціальності 135 – Суднобудування.

Гарант освітньої програми: д. т. н, професор Л.І. Коростильов

АРКУШ ОЗНАЙОМЛЕННЯ ПЕРСОНАЛУ З ДОКУМЕНТОМ

П.І.Б.	Посада	Дата ознайомлення	Підпис особи	Примітки

АРКУШ ОБЛІКУ ЗМІН

Номер змін	Дата	Сторінка зі змінами	Перелік змінених пунктів

АРКУШ ОБЛІКУ ПЕРІОДИЧНИХ ПЕРЕВІРОК

№ п/п	Дата	П.І.Б. й посада особи, що виконувала періодичну перевірку	Зміні підлягають	Підпис, що перевіряє