

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Загальна інформація про навчальну дисципліну

Повна назва навчальної дисципліни	Трибомеханіка та основи контактної механіки
Повна офіційна назва закладу вищої освіти	Сумський державний університет
Повна назва структурного підрозділу	Факультет технічних систем та енергоефективних технологій. Кафедра комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського
Розробник(и)	Загорулько Андрій Васильович
Рівень вищої освіти	Перший рівень вищої освіти, НРК – 6 рівень, QF-LLL – 6 рівень, FQ-EHEA – перший цикл
Семестр вивчення навчальної дисципліни	16 тижнів протягом 6-го семестру
Обсяг навчальної дисципліни	Обсяг дисципліни становить 5 кред. ЄКТС, 150 год., з яких 48 год. становить контактна робота з викладачем (16 год. лекцій, 32 год. практичних занять). Самостійна робота студентів - 102 години.
Мова викладання	Англійська

2. Місце навчальної дисципліни в освітній програмі

Статус дисципліни	Вибіркова навчальна дисципліна для освітньої програми "Комп'ютерний інжиніринг в механіці"
Передумови для вивчення дисципліни	САД системи в машинобудуванні, 3d моделювання
Додаткові умови	Додаткові умови відсутні
Обмеження	Обмеження відсутні

3. Мета навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є досягнення студентами сучасного конструктивного, фундаментального мислення та системи знань з теорії про механізми тертя, змащення та зношування поверхонь, про технологічні методи нанесення зносостійких покриттів на поверхні пар тертя різних деталей машин, види тертя та змащення, матеріали поверхонь деталей і типи мастил, теплові процеси, які супроводжують тертя поверхонь, а також основні принципи розрахунку і конструювання надійних вузлів тертя.

4. Зміст навчальної дисципліни

<p>Тема 1 Побудова поверхні і властивості тіл при терті та зношуванні</p> <p>Властивості твердих тіл, рідин та газів. Вплив обробки на поверхневі властивості твердих тіл. Утворення окисних плівок. Адгезія і когезія. Змочування і капілярні явища. Пористість. Напруження на контакті.</p>
<p>Тема 2 Контактна взаємодія твердих тіл при терті</p> <p>Якість поверхонь, характеристики мікрогеометрії поверхонь. Методика визначення характеристик мікрогеометрії. Контакт шорстких поверхонь, моделі шорсткостей, статистичний опис геометрії поверхонь. Фактична площа контакту. Реологічні моделі.</p>
<p>Тема 3 Механізми тертя</p> <p>Тертя кочення, тертя ковзання. Механізм тертя металів та еластомерів. Динамічні процеси при терті, фрикційні автоколивання.</p>
<p>Тема 4 Механізми зношування.</p> <p>Види зношування, моделі зношування. Руйнування фрикційного контакту. Розрахунки на тертя та знос. Припрацювання. Формоутворення контактуючих деталей. Зносоконтактна задача. Технологічні методи підвищення зносостійкості. Методи нанесення зносостійких покриттів.</p>
<p>Тема 5 Вибірчий перенос</p> <p>Механізм утворення сервовітної плівки, її структура. Фактори, які впливають на зниження сил тертя та зношування при виборчому переносі.</p>
<p>Тема 6 Види і режими змащення</p> <p>Крива Штрібека. Рідинне змащення (гідростатичне, гідродинамічне, пружньогідродинамічне змащення). Здавлювані плівки. Кавітація. Граничне змащення. Змішане змащення. Газове змащення.</p>
<p>Тема 7 Теплові процеси при терті та змащенні</p> <p>Постановка задачі теплопровідності при терті. Теплова динаміка тертя та зношування.</p>
<p>Тема 8 Моделювання трибомеханічних процесів. Методи та засоби випробувань</p> <p>Теорія подібності і моделювання. Подібність гідродинамічних процесів руху рідини. Чисельне моделювання за допомогою метода скінчених елементів і метода скінчених об'ємів. Випробувальна техніка для трибологічних випробувань.</p>
<p>Тема 9 Матеріали та змазки</p> <p>Сумісність і припрацювання матеріалів Металеві матеріали для вузлів тертя. Спечені порошкові композиційні антифрикційні матеріали. Полімерні і металлополімерні матеріали. Рідкі змащувальні матеріали (мастила). Пластичні змазки.</p>
<p>Тема 10 Основні принципи розрахунку і конструювання вузлів тертя</p> <p>Підбір матеріалів і вибір раціонального навантаження пари тертя.</p>

Тема 11 Трибологія ущільнень

Вимоги до якості поверхонь тертя ущільнень. Змішане змащення, термоеластогідродинамічне змащення, ефекти здавлення, двофазні середовища в торцевих ущільненнях. Механізми тертя, герметизації і змащення. Ущільнення з пористими поверхнями. Кавітація в парах тертя торцевих ущільнень з шорсткістю і хвилястістю поверхонь. Вибірчий перенос у торцевих ущільненнях. Формування мікрогеометрії контактної поверхні при терті і припрацюванні контактних ущільнень. Зворотні насосні течії в манжетних і торцевих ущільненнях, ефект нульових витоків. Торцеві ущільнення з лазерним покриттям. Випробування та розрахунок на знос, прогнозування ресурсу контактних ущільнень. Розв'язання зносоконтактної задачі для сальникових ущільнень. Комп'ютерне моделювання контактування поверхонь, тертя та зношування торцевих ущільнень. Динамічний аналіз торцевих ущільнень з урахуванням механізмів контактування, тертя та змащення. Діагностика ущільнень.

5. Очікувані результати навчання навчальної дисципліни

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

РН1	володіти знаннями про механізми тертя, змащення та зношування поверхонь, про технологічні методи нанесення зносостійких покриттів на поверхні пар тертя різних деталей машин, про види тертя та змащення, матеріали поверхонь деталей і типи мастил, теплові процеси, які супроводжують тертя поверхонь
РН2	використовувати отримані знання при розрахунку і конструюванні надійних вузлів тертя
РН3	розуміти взаємозв'язок знань з основ трибомеханіки зі знаннями по трибології ущільнень роторних машин, таких як насоси і компресори, які дуже широко використовуються у промисловості, та використовувати отримані знання при створенні надійних та довговічних ущільнень роторних машин, які мають достатньо високу герметичність

7. Види навчальних занять та навчальної діяльності

7.1 Види навчальних занять

Тема 1. Побудова поверхні і властивості тіл при терті та зношуванні
Лк1 "Загальні уявлення про тертя та зношування" (денна) Основні поняття і визначення трибомеханіки. Побудова поверхні і властивості тіл при терті та зношуванні.
Пр1 "1" (денна) Властивості твердих тіл, рідин та газів. Вплив обробки на поверхневі властивості твердих тіл.
Пр2 "2" (денна) Змочування і капілярні явища. Пористість. Напруження на контакті.
Тема 2. Контактна взаємодія твердих тіл при терті

<p>Лк2 "Контактна взаємодія твердих тіл при терті" (денна)</p> <p>Контактна взаємодія твердих тіл при терті. Якість поверхонь, характеристики мікрогеометрії поверхонь. Контакт шорстких поверхонь, моделі шорсткостей, статистичний опис геометрії поверхонь.</p>
<p>Пр3 "3" (денна)</p> <p>Методика визначення характеристик мікрогеометрії.</p>
<p>Пр4 "4" (денна)</p> <p>Фактична площа контакту.</p>
<p>Тема 3. Механізми тертя</p>
<p>Лк3 "Механізми тертя" (денна)</p> <p>Тертя кочення, тертя ковзання. Механізм тертя металів та еластомерів.</p>
<p>Пр5 "5" (денна)</p> <p>Динамічні процеси при терті.</p>
<p>Пр6 "6" (денна)</p> <p>Фрикційні автоколивання.</p>
<p>Тема 4. Механізми зношування.</p>
<p>Лк4 "Механізми зношування" (денна)</p> <p>Види зношування, моделі зношування. Припрацювання. Формоутворення контактуючих деталей. Технологічні методи підвищення зносостійкості.</p>
<p>Пр7 "7" (денна)</p> <p>Розрахунки на тертя та знос.</p>
<p>Пр8 "8" (денна)</p> <p>Зносоконтактна задача.</p>
<p>Тема 5. Вибірчий перенос</p>
<p>Лк4 "Вибірчий перенос" (денна)</p> <p>Механізм утворення сервовітної плівки, її структура. Фактори, які впливають на зниження сил тертя та зношування при виборчому переносі.</p>
<p>Тема 6. Види і режими змащення</p>
<p>Лк5 "Види і режими змащення" (денна)</p> <p>Крива Штрібека. Рідинне змащення (гідростатичне, гідродинамічне, пружньогідродинамічне змащення). Граничне змащення. Змішане змащення.</p>

<p>Пр9 "9" (денна) Гідродинамічне змащення.</p>
<p>Пр10 "10" (денна) Здавлювані плівки. Кавітація. Газове змащення.</p>
<p>Тема 7. Теплові процеси при терті та змащенні</p>
<p>Лк6 "6" (денна) Теплові процеси при терті та змащенні.</p>
<p>Пр11 "11" (денна) Постановка задачі теплопровідності при терті. Теплова динаміка тертя та зношування.</p>
<p>Пр12 "12" (денна) Чисельне моделювання за допомогою метода скінчених елементів і метода скінчених об'ємів.</p>
<p>Тема 8. Моделювання трибомеханічних процесів. Методи та засоби випробувань</p>
<p>Лк6 "6" (денна) Моделювання трибомеханічних процесів. Методи та засоби випробувань.</p>
<p>Тема 9. Матеріали та змазки</p>
<p>Лк7 "Матеріали та змазки." (денна) Матеріали та змазки.</p>
<p>Пр13 "13" (денна) Сумісність і припрацювання матеріалів.</p>
<p>Пр14 "14" (денна) Підбір матеріалів і вибір раціонального навантаження пари тертя.</p>
<p>Тема 10. Основні принципи розрахунку і конструювання вузлів тертя</p>
<p>Лк7 "7" (денна) Основні принципи розрахунку і конструювання вузлів тертя.</p>
<p>Тема 11. Трибологія ущільнень</p>
<p>Лк8 "Трибологія ущільнень" (денна) Вимоги до якості поверхонь тертя ущільнень. Змішане змащення, термоеластогідродинамічне змащення, ефекти здавлення, двофазні середовища в торцевих ущільненнях. Механізми тертя, герметизації і змащення.</p>

<p>Пр15 "15" (денна)</p> <p>Розрахунок на знос, прогнозування ресурсу контактних ущільнень. Розв'язання зносоконтактної задачі для сальникових ущільнень.</p>
<p>Пр16 "16" (денна)</p> <p>Комп'ютерне моделювання контактування поверхонь, тертя та зношування торцевих ущільнень. Динамічний аналіз торцевих ущільнень з урахуванням механізмів контактування, тертя та змащення.</p>

7.2 Види навчальної діяльності

НД1	Підготовка до лекцій
НД2	Робота на практичних заняттях над індивідуальними і комплексними задачами, їх захист у виді письмового звіту або презентації
НД3	Виконання розрахункової роботи - яка включає наступні задачі: 1) комп'ютерне моделювання контактування поверхонь, тертя та зношування торцевих ущільнень (тема 1-10), 2) трибологія підшипників ковзання і лабіринтних та шпаринних ущільнень (тема 6-8, 11), та охоплює усі теми курсу.

8. Методи викладання, навчання

Дисципліна передбачає навчання через:

МН1	Інтерактивні лекції, лекції-обговорення та лекції-візуалізації надають студентам широку теоретичну базу з комп'ютерного моделювання задач механіки твердого тіла, гідродинаміки та динаміки, що є основою для самостійного навчання здобувачів вищої освіти (РН 1, РН2, РН3).
МН2	Практичні заняття, використовуючи індивідуальну та групову форму роботи над аналізом, будовою математичних моделей та розв'язанням прикладних задач, а також практики-відеоконференції, використання віртуального моделювання під час яких студенти повторюють роботу викладача стосовно до конкретної задачі, отримуючи навички роботи з певним програмним комплексом. Практичні заняття доповнюють лекційний матеріал і надають студентам можливість застосовувати теоретичні знання на практичних прикладах (РН 2, РН3).
МН3	Практико-орієнтоване навчання - індивідуальна або комплексна розрахункова робота (РР) передбачає розв'язок практичних задач з комп'ютерного моделювання контактування поверхонь тертя та зношування торцевих ущільнень, та з трибології ущільнень (РН1 – РН3).

Самостійному навчанню сприятиме підготовка до лекцій, попереднє ознайомлення з питанням, що винесено на обговорення, до практичних занять, індивідуальна чи колективна робота в невеликих групах при оволодінні навичок роботи з сучасними комп'ютерними комплексами, підготовки презентацій, що будуть представлені іншим студентам, матеріалу до відео конференцій, участь у обговоренні, аналіз питання, підготовка до звіту про виконання завдань практико-орієнтованого навчання. Під час підготовки до презентацій за результатами практико-орієнтованого навчання студенти розвиватимуть навички самостійного навчання, критичного аналізу, синтезу та аналітичного мислення. Самостійній

роботі студента також сприятиме використання електронних засобів навчання (mix.sumdu.edu.ua, ocw.mit.edu та інші). В електронному варіанті лекцій матеріал подається англійською мовою, що дає змогу засвоєння англomовної термінології з даного предмету.

Під час проведення занять студенти отримують навички комунікації, вміння працювати в команді, здатність логічно і системно мислити, креативність; навички письмової комунікації, аргументовано висловлювати свої думки. Підготовка до виконання РГР допоможе студентам розвивати та реалізувати навички логічного та системного мислення.

9. Методи та критерії оцінювання

9.1. Критерії оцінювання

Визначення	Чотирибальна національна шкала оцінювання	Рейтингова бальна шкала оцінювання
Відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)	$90 \leq RD \leq 100$
Вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)	$82 \leq RD < 89$
Загалом правильна робота з певною кількістю помилок	4 (добре)	$74 \leq RD < 81$
Непогано, але зі значною кількістю недоліків	3 (задовільно)	$64 \leq RD < 73$
Виконання задовольняє мінімальні критерії	3 (задовільно)	$60 \leq RD < 63$
Можливе повторне складання	2 (незадовільно)	$35 \leq RD < 59$
Необхідний повторний курс з навчальної дисципліни	2 (незадовільно)	$0 \leq RD < 34$

9.2 Методи поточного формативного оцінювання

МФО1	Опитування та усні коментарі викладача за його результатами, настанови викладачів в процесі виконання практичних завдань
МФО2	Самооцінювання поточного тестування
МФО3	Обговорення та взаємооцінювання студентами під час розв'язання практичних задач

9.3 Методи підсумкового сумативного оцінювання

МСО1	Аудиторна робота (методи вирішення задачі, презентація, обговорення)
МСО2	Контрольна робота (тести, задачі)
МСО3	Індивідуальне завдання (виконання, звіт, презентація, захист)
МСО4	Розгляд розв'язків тестових прикладів (тести)
МСО5	Розв'язання практичних завдань (звіт)
МСО6	Індивідуальне завдання (виконання, звіт)

Контрольні заходи:

6 семестр	100 балів
МСО1. Аудиторна робота (методи вирішення задачі, презентація, обговорення)	30
	30
МСО2. Контрольна робота (тести, задачі)	30
	30
МСО3. Індивідуальне завдання (виконання, звіт, презентація, захист)	40
	40

Контрольні заходи в особливому випадку:

6 семестр	100 балів
МСО4. Розгляд розв'язків тестових прикладів (тести)	30
	30
МСО5. Розв'язання практичних завдань (звіт)	30
	30
МСО6. Індивідуальне завдання (виконання, звіт)	40
	40

Форма підсумкового контролю – модульний контроль, що проводиться у письмовій формі за тестовими технологіями. Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни студент повинен набрати не менше ніж 60% з кожного виду оцінювання. Студент, який протягом навчального періоду виконав всі заплановані види навчальної роботи та за наслідками модульних атестацій набрав необхідну, яка відповідає позитивній оцінці, кількість рейтингових балів не менше 60, отримує семестрову оцінку у відповідності до набраних рейтингових балів. Складання заходу підсумкового семестрового контролю з метою підвищення позитивної оцінки не здійснюється. Студент, який протягом поточної роботи не набрав кількість рейтингових балів, що відповідає позитивній оцінці, але не менше 35 балів, зобов'язаний скласти захід підсумкового семестрового контролю, яке здійснюється після завершення останнього модульно-атестаційного циклу у семестрі або екзаменаційної сесії, якщо вона передбачена, за додатковою відомістю семестрової атестації (першою незадовільною оцінкою вважається та, що отримана за наслідками модульних атестацій, яка виставляється в основну відомість семестрової атестації). Студент має право на два складання ПСК: викладачу та комісії. У разі незадовільного складання підсумкового семестрового контролю комісії студент отримує оцінку «незадовільно» («F» за шкалою ECTS) і відраховується з університету. При успішному складанні заходу підсумкового семестрового контролю використовується оцінка «задовільно», яка засвідчує виконання студентом мінімальних вимог без урахування накопичених балів («E» за шкалою ECTS) із визначенням рейтингового балу 60. Студент, який за наслідками модульних атестацій набрав менше 35 рейтингових балів, не допускається до підсумкового семестрового контролю, отримує оцінку «незадовільно» (за шкалою ECTS – «F») і відраховується з університету.

10. Ресурсне забезпечення навчальної дисципліни

10.1 Засоби навчання

ЗН1	Креслення машин та механізмів
ЗН2	Комп'ютерне обладнання
ЗН3	Програмні комплекси (Autodesk Inventor Student 2019, ANSYS Academic Research CFD 12.1, ANSYS Student 19.2, OpenFoam 5.0, Scilab 6.0.2)
ЗН4	Мультимедійна апаратура

10.2 Інформаційне та навчально-методичне забезпечення

Основна література	
1	Bearing Tribology: Principles and Applications / Ming Qiu, Long Chen, Yingchun Li, Jiafei Yan ; by Ming Qiu, Long Chen, Yingchun Li, Jiafei Yan. – 1st ed. 2017. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017. – XII, 333 p. 145 illus., 9 illus
2	Трибология. Электромеханические основы, анализ и синтез на нано-, микро- и миллиуровнях и технические приложения [Текст] : учебник / А. И. Вотльченко, М. В. Киндрачук, Д. А. Вольченко [и др.] ; Под ред. А.И. Вольченко. – К.-Краснодар, 2015. – 371 с.
Інформаційні ресурси в Інтернеті	
3	Tribology (opencourseware) https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-800-tribology-fall-2004/