

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

Олександр СТРИЛЕЦЬ

« 28 » вересня 2026 р.

ПОГОДЖЕНО

Заступник директора з НМР ЛО «ДПТК»

Сергій БОРДІЄНКО



МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ІСТОРІЯ ТА КУЛЬТУРА УКРАЇНИ»

Спеціальність: G9 Прикладна механіка

МОДУЛЬ 1. Від простих механізмів до складної кінематики: Витоки прикладної механіки на українських землях (від античності до XV ст.)

ТЕМА СРС 1.1: Опрацювання першоджерел щодо інженерних рішень під час зведення монументальних споруд античності (важелі, клини, поліспасти)

– **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження розвитку механіки та інженерних рішень у доіндустріальну добу.

– **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.

– **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).

– **Форма контролю:** Перевірка конспектів, усне опитування на семінарських заняттях.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Вивчення витоків інженерної думки та технологій обробки матеріалів є фундаментальним етапом у формуванні світогляду майбутнього фахівця з прикладної механіки. Античні поліси Північного Причорномор'я (такі як Ольвія, Херсонес, Пантікапей) стали першими на українських землях індустріальними та архітектурними майданчиками, де людина масово кинула виклик гравітації та опору матеріалів. Для здобувача спеціальності 131 античне монументальне будівництво — це найдавніший полігон емпіричного випробування законів статyki та кінематики.

Ця самостійна робота вимагає від слухача здійснити фаховий «інженерний демонтаж» історичної епохи. Здобувач повинен не просто запам'ятати типи механізмів, а проаналізувати емпіричну фізику стародавніх вантажопідйомних машин і технологій переміщення надважких об'єктів. Відсутність у стародавніх зодчих сучасного математичного апарату та двигунів внутрішнього згорання компенсувалася геніальним розумінням просторової геометрії, властивостей важелів та природи тертя. Розуміння цих базових принципів формує у сучасного інженера-механіка критичне просторове мислення та здатність знаходити раціональні рішення в умовах жорстко обмежених технологічних ресурсів.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ АНТИЧНИХ МЕХАНІЗМІВ

Завдання для опрацювання: Опрацювати доступні історико-технічні матеріали (зокрема описи з трактатів Вітрувія та Герона Александрійського) щодо конструкції простих механізмів та проаналізувати їхній вплив на оптимізацію фізичної праці під час зведення масштабних об'єктів.

2.1. Макрорівень: Подолання гравітації та перетворення тертя

Зведення оборонних мурів та храмів вимагало переміщення кам'яних блоків вагою в десятки тонн, що виключало використання виключно м'язової сили без механічних посередників.

- **Похила площина та котки:** Античні інженери емпірично досягнули концепцію розкладання вектора сили ваги. Створюючи довгі земляні пандуси, вони штучно зменшували зусилля, необхідне для підняття вантажу, компенсуючи це збільшенням пройденого шляху. Водночас використання ідеально круглих дерев'яних котків під монолітами стало першим в історії переходом від руйнівного тертя ковзання до значно ефективнішого тертя кочення.
- **Важіль як інструмент позиціонування:** Архітектура сухих кладок (без застосування цементних розчинів) вимагала міліметрової точності стикування багатотонних квадратів. Бронзові та залізні ломи використовувалися як важелі першого роду. Зміщуючи точку опори максимально близько до вантажу, майстер отримував величезне плече прикладання сили, що дозволяло одній людині ювелірно контролювати просторове переміщення масивного каменя.

2.2. Мікрорівень: Кінематика підйомних кранів та поліспастів

Відмовившись від суцільних земляних насипів при зведенні колон, інженери створили перші машини просторової дії — дерев'яні крани (триспастоси та пентаспастоси).

- **Поліспа́ст (система бло́ків):** Механізм, що складався з фіксованих та рухомих шківів, через які пропускався прядив'яний канат. Головна інженерна мета поліспа́ста — рівномірний розподіл маси вантажу між кількома паралельними гілками каната. Це не лише кратно зменшувало тягове зусилля операторів, але й рятувало сам канат від розриву, оскільки натяг у кожному його окремому сегменті падав пропорційно до кількості шківів у системі.
- **Ступальне колесо (Treadwheel):** Вершина античної кінематики. Замість ручного коловороту (де тягове зусилля обмежувалося силою рук), інженери створили гігантське колесо, всередині якого крокували робітники. Вага їхніх тіл, постійно зміщена відносно центральної осі, створювала безперервний крутний момент. Великий діаметр ступального колеса відносно малого діаметра вала, на який намотувався канат, діяв як потужний механічний редуктор.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен не лише законспектувати історичні факти функціонування механізмів, але й здійснити фахову екстраполяцію цього досвіду, застосовувши логіку сучасної прикладної механіки до стародавніх технологій. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або в електронному форматі у вигляді конспекту-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Проаналізуйте інженерні рішення античності та підготуйте аналітичний конспект на тему: «Від емпірики до прикладної механіки: аналіз ефективності простих механізмів у монументальному будівництві стародавнього світу». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного конспекту (Алгоритм виконання):

1. **Кінематика та розподіл зусиль:** Опишіть принцип дії підйомного крана з поліспа́стною системою (наприклад, пентаспастоса). Спираючись на загальні закони статички, поясніть, чому античні інженери поєднували поліспа́ст із масивним ступальним колесом. Як саме співвідношення радіуса колеса та радіуса намотувального вала генерувало виграш у силі?
2. **Матеріалознавство та трибологія доіндустріальної доби:** Опишіть проблеми, з якими стикалися стародавні механіки при створенні рухомих вузлів (шківів, осей). Яким чином використання мастил тваринного походження або правильний підбір порід деревини для осей допомагали боротися з тертям і нагріванням механізмів під час підйому багатотонних вантажів? Як поліспа́ст компенсував низьку границю міцності природних канатів на розрив?
3. **Філософсько-етичний вимір інженерії:** Зробіть висновок про те, як винахід блокових систем та ступальних коліс змінив характер праці. Поясніть, чому перехід від масового використання некваліфікованої м'язової сили (перетягування блоків сотнями рабів по піску) до застосування компактних підйомних механізмів, керованих кількома фахівцями, вважається першою перемогою інженерного інтелекту над грубою силою. Як ця історична трансформація відображає сучасну місію інженера з прикладної механіки щодо гуманізації та полегшення виробничих процесів?

ТЕМА СРС 1.2: Опрацювання матеріалу щодо біомеханіки, еволюції тягової сили та транспортних засобів ранніх слов'ян

- **Напря́м самостійної роботи:** Дослідження розвитку механіки та інженерних рішень у доіндустріальну добу.
- **Загальний обсяг часу на напря́м:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Перевірка конспектів, усне опитування на семінарських заняттях, захист результатів аналізу.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Домашнє тваринництво та землеробство здійснили першу глобальну енергетичну революцію в історії людства. Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» цей етап становить винятковий інтерес, адже саме тоді інженерна думка вперше зіткнулася з проблемою інтеграції «біологічного двигуна» (тягової тварини) та механічного робочого органу (воза або плуга). Тварина генерує кінетичну енергію, але щоб перетворити її на корисну роботу з подолання опору ґрунту чи тертя об дорогу, потрібна була надійна трансмісія — упряж.

Ця самостійна робота спрямована на фаховий інженерний аналіз доіндустріальної біомеханіки. Здобувачі повинні дослідити, як стародавні землероби емпіричним шляхом розв'язували надскладні завдання з розподілу механічних напружень на скелет тварини, боротьби з абразивним зношуванням

матеріалів та оптимізації кінематики просторового переміщення ґрунтових мас. Розуміння логіки еволюції від примітивного ярма до анатомічно досконалого хомута, а також від простого клиноподібного рала до складного відвального плуга, формує здатність бачити за історичними артефактами суворі закони будівельної механіки, трибології та опору матеріалів.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ БІОМЕХАНІКИ ТА ТРАНСПОРТУ

Завдання для опрацювання: Здійснити ретроспективний аналіз технічної еволюції систем упряжі та ґрунтообробних знарядь, оцінити ефективність перетворення мускульної сили тварин на тягове зусилля.

2.1. Макрорівень: Біомеханічна трансмісія (Системи упряжі)

Головна проблема використання тягової сили — це правильний розподіл векторів сил та контактних напружень на тіло тварини, щоб не травмувати її і не обмежувати біологічні функції (дихання, кровообіг).

- **Механіка ярма (Шийна упряж):** Ярмо являло собою жорстку дерев'яну балку, яка фіксувалася на шії або рогах волів. Інженерна логіка ярма спиралася на анатомію великої рогатої худоби: вектор тяги передавався безпосередньо від масивної шії та холки до центрального дишла. Це рішення забезпечувало високий статичний крутний момент (тягу на низьких швидкостях), що було ідеальним для оранки важких цілинних ґрунтів. Проте ярмо було абсолютно неефективним для коней, оскільки при збільшенні навантаження воно перетискало трахею, перекриваючи дихання і зводячи корисну потужність до мінімуму.
- **Механіка хомута (Плечова упряж):** Винахід жорсткого хомута з м'якою внутрішньою підкладкою став революцією в біомеханіці. Вектор сили тяги був свідомо зміщений з вразливої шії на найміцніший м'язовий каркас тварини — лопатки та грудну клітку. Це зняло будь-який тиск на дихальні шляхи. Емпіричний розподіл контактних напружень на більшу площу дозволив коню докладати максимальні зусилля, використовуючи не лише свою масу, але й швидкість (кінетичну енергію). Це радикально збільшило ККД "біологічного двигуна".

2.2. Мікрорівень: Трибологія та кінематика ґрунту (Плуг і транспорт)

Другим викликом була мінімізація втрат енергії на подолання опору середовища — тертя.

- **Від волокуш до колеса:** Ранні транспортні засоби (сани-волокуші) працювали виключно на терті ковзання. Їхня інженерна перевага полягала у величезній площі контакту полозів із землею, що кардинально знижувало питомий тиск на ґрунт (дозволяло рухатися болотами без провалювання). Винахід колеса замінив згубне тертя ковзання на ефективне тертя кочення. Опір рухові впав у десятки разів, але різко зріс питомий тиск у точці контакту вузького обода з дорогою, що зробило колісний транспорт залежним від твердості шляхів.
- **Просторова деформація ґрунту (Рало та Плуг):** Найдавніше рало діяло за принципом простого симетричного клина, який лише розсовував ґрунт у горизонтальній площині (двовимірна деформація). При цьому тертя дерева об землю швидко руйнувало інструмент. Еволюційний стрибок — створення відвального плуга з асиметричною геометрією. Плуг отримав залізний леміш (підрізання пласта знизу), чересло (вертикальний різ) та відвал. Відвал працював як складна гвинтова (лекальна) поверхня, яка не просто відсувала ґрунт, а плавно закручувала і перевертала підрізаний пласт на 180 градусів. Ця складна просторова кінематика вимагала значно більшої тягової сили, але повністю знищувала бур'яни і збагачувала землю киснем.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен перевести історико-аграрні процеси в площину інженерного аналізу, оцінивши ефективність стародавніх механізмів з позиції сучасного фахівця з прикладної механіки. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Проаналізуйте еволюцію ранніх механічних засобів і підготуйте аналітичний конспект/есе на тему: «Біомеханіка та кінематика доіндустріальної епохи: еволюція передачі тягової сили та подолання опору середовища». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного конспекту (Алгоритм виконання):

1. **Біомеханіка передачі енергії:** З інженерної точки зору поясніть конструктивну різницю між ярмом та хомутом. Як зміна точки прикладання сили (вектора тяги) з шії на плечовий пояс коня усунула біологічне обмеження системи (перетискання дихальних шляхів) та дозволила використовувати не лише статичну вагу тварини, але й швидкість (кінетичну складову)?
2. **Матеріалознавство та опір середовища:** Проаналізуйте роботу клиноподібного дерев'яного рала. Чому дерево швидко зазнавало абразивного зношування при терті об цілинний ґрунт? Як впровадження кованого залізного наральника (а згодом лемеша) змінило експлуатаційні характеристики інструмента та дозволило перейти до інтенсивного обробітку важких ґрунтів?

3. **Кінематика ґрунтообробного агрегату:** Опишіть фізику процесу роботи відвального плуга. Чому перетворення двовимірного розсування ґрунту на складне просторове перевертання земляного пласта (гвинтовою поверхнею відвалу) вимагало впровадження багатокінних (багатоволових) упряжок?
4. **Філософія ефективності:** Зробіть висновок про те, як інженерна оптимізація тяги (поява хомута і плуга) призвела до утворення надлишку продовольства. Як цей чисто механічний прогрес став соціальним фундаментом для вивільнення робочих рук, зародження спеціалізованих ремесел та розбудови ранніх слов'янських міст? Як це ілюструє головну мету сучасної інженерії — підвищення загальносуспільної продуктивності праці?

ТЕМА СРС 1.3: Дослідження кінематики ремісничих механізмів (перетворення обертового руху, гончарне коло, перші токарні пристрої)

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження розвитку механіки та інженерних рішень у доіндустріальну добу.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Перевірка конспектів, усне опитування на семінарських заняттях, захист логічних схем та результатів аналізу.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Епоха розквіту ремесел у містах Київської Русі супроводжувалася фундаментальним технологічним зсувом — переходом від створення предметів виключно вільним рухом людських рук до використання перших стаціонарних верстатів. Створення ідеально симетричного посуду, виточування круглих дерев'яних баясин або свердління глибоких отворів у твердих матеріалах вимагало принципово нової організації праці. Людська біомеханіка чудово пристосована до зворотно-поступальних (лінійних) рухів, але зовсім не здатна генерувати безперервний, високошвидкісний та стабільний обертовий рух, необхідний для механічної обробки тіл обертання.

Для майбутнього інженера-механіка цей історичний етап є класичним полігоном для вивчення основ кінематики та теорії машин. Самостійна робота вимагає від здобувача здійснити фаховий аналіз того, як стародавні майстри емпіричним шляхом створювали перші трансмісії: перетворювали рух людської руки чи ноги на обертання шпинделя, долали руйнівне тертя в опорних вузлах та геніально застосовували явище інерції для стабілізації швидкості. Розуміння цих базових механічних трансформацій формує просторове мислення та закладає фундамент для подальшого вивчення складних металорізальних верстатів сучасного машинобудування.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ РЕМІСНИЧИХ ВЕРСТАТІВ

Завдання для опрацювання: Дослідити еволюцію кінематичних схем першого ремісничого обладнання (гончарного кола, лучкового токарного та свердлильного верстатів), проаналізувавши їхню механічну ефективність.

2.1. Макрорівень: Акумуляція енергії та подолання опору (Гончарне коло)

Формування глини — це процес, що супроводжується значним опором в'язкого матеріалу. Цей опір постійно гальмує обертання робочого столика.

- **Механіка ручного кола:** Найдавніше коло майстер мусив постійно підкручувати однією рукою, тоді як іншою формував виріб. Через малу масу диска коло миттєво зупинялося під тиском глини. Робота була переривчастою, що не дозволяло створювати тонкостінний і високий посуд.
- **Інженерія ножного кола з маховиком:** Справжньою революцією стало розділення функцій приводу та робочого органу. Майстри створили двоярусну систему на єдиній вертикальній осі. Зверху розташовувався малий легкий диск для глини, а знизу (в ногах гончара) — масивне дерев'яне колесо великого діаметра. Нижнє колесо виконувало роль потужного **маховика**. Розкрутивши його ногами, майстер передавав системі колосальну кінетичну енергію. Завдяки великій масі та інерції, маховик долав в'язкий опір глини, забезпечуючи тривале, рівномірне і плавне обертання заготовки. Це повністю звільнило обидві руки гончара для точної роботи, радикально підвищивши продуктивність праці та якість виробів.

2.2. Мезорівень: Перетворення рухів (Лучковий токарний верстат)

Обробка дерева та кістки різцем вимагала жорсткої фіксації осі обертання заготовки.

- **Кінематика лучкового приводу:** Найпростіша стародавня трансмісія. Тягива звичайного пружного лука один або два рази обмотувалася навколо осі заготовки, яка була затиснута між двома нерухомими центрами (бабками). Рухаючи лук рукою вперед-назад (лінійний зворотно-поступальний рух), майстер змушував заготовку швидко обертатися навколо своєї осі.

- **Проблема переривчастого різання:** Ця кінематична схема мала суттєвий недолік — напрямок обертання постійно змінювався. Коли заготовка оберталася назустріч лезу (робочий хід), відбувалося зняття стружки. При зворотному русі лука лезо лише терлося об деталь, псуючи її поверхню та затуплюючи інструмент. Майстри емпірично вирішили цю проблему через впровадження **підручника** — жорсткої опори для різця. Використовуючи підручник як точку опори для важеля, токар міг миттєво та з ювелірною точністю притискати різець під час робочого ходу і ледь відводити його під час холостого (зворотного) ходу, здійснюючи так зване циклічне різання.

2.3. Мікрорівень: Трибологія та опорні підшипники

Будь-який обертовий механізм неминуче стикається з проблемою тертя у вузлах фіксації (опорах).

- **Еволюція п'ятника (опорного підшипника):** Вертикальний вал важкого ножного гончарного кола всією своєю масою тиснув на нижню точку опори. Тертя дерева об дерево швидко призводило до займання або повного стирання осі. Археологічні знахідки вказують на те, що давньоруські майстри почали використовувати тверді матеріали як вкладиші: на дно дерев'яного гнізда кладали гладко відшліфований кварцит або кремій з невеликою центральною лункою.
- **Машення вузлів:** Для переходу від сухого тертя до граничного рідинного, у лунку з каменем закладали тваринний жир або дьоготь. Це геніальне за своєю простотою рішення мінімізувало площу контакту (опора перетворилася на точкову) та радикально знизило коефіцієнт тертя, дозволяючи важкому маховику обертатися без зупинок максимально довго.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен екстраполювати досвід створення перших ремісничих верстатів на фундаментальні принципи сучасної машинобудівної кінематики. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого документа-есе.

Практичне завдання (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний конспект/есе на тему: «Від ручної праці до перших верстатів: інженерний аналіз кінематики та трибології доіндустріальних ремісничих механізмів». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного конспекту (Алгоритм виконання):

1. **Кінематика перетворення рухів:** Опишіть фізичний принцип роботи лучкового токарного верстата. Поясніть інженерну сутність переривчастого різання. Чому неможливість забезпечити безперервний обертовий рух в одному напрямку стала головною перешкодою для обробки твердих металів у ранньому середньовіччі, і чому ця схема підходила лише для дерева або кістки?
2. **Акумуляція енергії та стабілізація:** Зробіть детальний аналіз ножного гончарного кола як системи зі штучним акумулятором енергії. Спираючись на загальне розуміння явища інерції, поясніть, чому діаметр і маса нижнього колеса (маховика) робилися максимально великими. Як саме маховик допомагав згладжувати нерівномірні поштовхи ніг майстра, перетворюючи їх на ідеально плавне обертання шпинделя?
3. **Трибологія та надійність опор:** Опишіть еволюцію опорного підшипника ковзання (п'ятника) у важких вертикальних механізмах. Чому застосування комбінації "тверде дерево (вал) — надтвердий камінь (опора) — тваринне мастило" було єдиним доступним інженерним рішенням для запобігання руйнівному тертю ковзання до винаходу сталевих підшипників качення?
4. **Етико-соціальний вимір інженерії:** Сформулюйте висновок про те, як винайдення перших кінематичних верстатів змінило економіку давніх суспільств. Чому здатність ремісника (прото-інженера) відокремити силовий привід від робочого інструмента (звільнити обидві руки для точного формування деталі) стала фундаментальним кроком до масового, стандартизованого серійного виробництва, що стало основою могутності міст Київської держави?

ТЕМА СРС 1.4: Аналіз еволюції військової механіки, балістики ранніх металевих машин в оборонній архітектурі

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження розвитку механіки та інженерних рішень у доіндустріальну добу.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Перевірка конспектів, усне опитування на семінарських заняттях, захист результатів аналізу на семінарах.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Військова справа та фортифікація історично виступали найпотужнішим каталізатором розвитку інженерних наук. До винайдення пороху єдиним способом зруйнувати кам'яні мури фортеці або завдати масованого удару на великій відстані було використання законів механіки. Стародавні та середньовічні інженери стикнулися з фундаментальною проблемою: як згенерувати силу, що в сотні разів перевищує можливості людських м'язів, і як контролювано спрямувати цю силу на руйнування ворожих об'єктів.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» металеві артилерійські катапульти (балісти, требюше) є першим в історії прикладом створення складних динамічних машин. Ці пристрої базувалися на глибокому емпіричному розумінні принципів накопичення (акумуляції) величезної потенційної енергії з її наступним миттєвим вивільненням у вигляді кінетичної енергії снаряда. Ця самостійна робота вимагає від здобувача здійснити фаховий «інженерний демонтаж» стародавніх систем озброєння, проаналізувавши еволюцію джерел енергії (від пружності дерева до скручування сухожилів і використання гравітації) та розв'язання перших проблем динамічної міцності (віддачі), що заклали основи сучасного машинобудування та теорії пружності.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ ВІЙСЬКОВОЇ МЕХАНІКИ

Завдання для опрацювання: Дослідити еволюцію кінематичних та енергетичних схем допорохової артилерії, проаналізувати фізику торсіонних і гравітаційних механізмів та методи боротьби зі втомою матеріалів під час динамічних ударів.

2.1. Макрорівень: Акумуляція енергії пружної деформації (Торсіонні машини)

Можливості звичайного лука (який працює на згин деревини) були швидко вичерпані через межу міцності самого дерева на злам. Інженери здійснили прорив, змусивши матеріали працювати на скручування (торсіон).

- **Двоплечі торсіонні машини (Балісти):** Робочим елементом виступали два вертикальні пучки (циліндри) з туго натягнутих тваринних жил або кінського волоса. Крізь кожен пучок просувався дерев'яний важіль. За допомогою коловорота важелі відтягувалися назад, ще сильніше закручуючи пучки (накопичення енергії пружної деформації). При спуску пучки різко розкручувалися, штовхаючи тятиву. Балісти забезпечували настільну (пряму) траєкторію з колосальною початковою швидкістю снаряда, ідеально підходячи для пробивання воріт та прицільного вогню.
- **Одноплечі торсіонні машини (Онагри / Катапульти):** Використовували один масивний горизонтальний моток жил, крізь який просувався єдиний довгий металевий важіль. Машина стріляла по крутій параболічній траєкторії, перекидаючи важке каміння через мури. Рух важеля зупинявся надзвичайно жорстким ударом об поперечну стопорну балку.

2.2. Мезорівень: Гравітаційна механіка та принцип мультиплікації (Требюше)

Торсіонні машини мали фатальний недолік: гігроскопічність матеріалів. У сиру або дощову погоду тваринні жили розбухали, катастрофічно втрачаючи пружність, і дальність стрільби падала в рази.

- **Перехід до гравітації:** Середньовічні інженери вирішили цю проблему, відмовившись від енергії деформації на користь найстабільнішого джерела — гравітації (земного тяжіння). Требюше (фрондибола) являв собою асиметричний важіль, на короткому кінці якого шарнірно підвішувалася гігантська противага (ящик з десятками тонн каміння).
- **Кінематика праці як мультиплікатора:** Головним секретом дальності требюше була не лише противага, але й праця, прикріплена до довгого кінця важеля. Праця діяла як додатковий гнучкий шарнір. Коли противага падала, а важіль злітав угору, праця розкручувалася, створюючи колосальну відцентрову силу. Ця система мультиплікувала (множила) лінійну швидкість кінця важеля, надаючи снаряду імпульс, недосяжний для жодної жорсткої конструкції. Залізний гак на кінці важеля був розрахований так, щоб кільце праці автоматично зісковзувало під дією відцентрової сили в момент досягнення ідеального кута вильоту (близько 45 градусів).

2.3. Мікрорівень: Динаміка віддачі та архітектурна протидія

Створення машин колосальної потужності породило проблему руйнівних динамічних навантажень.

- **Демпфування ударів:** У катапультах (онаграх) удар металевого важеля об стопор генерував таку кінетичну віддачу (вібрацію), яка могла розірвати саму машину або розхитати кам'яну вежу, на якій вона стояла. Щоб запобігти крихкому руйнуванню, стопорну балку оббивали товстими шарами вовни, шкіри та повсті. Це були перші в історії композитні амортизатори (демпфери), що поглинали пікові навантаження і розтягували час удару, знижуючи руйнівне зусилля.
- **Архітектурний захист:** У відповідь на появу важких гравітаційних металевих машин (требюше), які руйнували прямі кам'яні мури, будівельна механіка змінилася. Фортифікатори почали зводити мури з похилим укосом біля основи (талюсом). Похила площина змушувала

кам'яні ядра рикошетити вгору, відхиляючи вектор їхньої кінетичної енергії і не дозволяючи передати всю силу удару безпосередньо в кам'яну кладку.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен перевести описи історичних облогових машин у площину професійного аналізу, оцінивши їх як складні інженерні системи з перетворення енергії. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Проаналізуйте еволюцію військової механіки та підготуйте аналітичний конспект/есе на тему: «Від пружності до гравітації: кінематичний аналіз та інженерна логіка доіндустріальних металевих систем». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного конспекту (Алгоритм виконання):

1. **Джерела енергії та матеріалознавство:** З інженерної точки зору поясніть причину переходу від торсіонних (скручених) акумуляторів енергії (катапульти, балісти) до гравітаційних (требюше). Чому незалежність від фізико-хімічних властивостей матеріалів (гігроскопічності жил) та використання маси як константи (гравітації) зробили гравітаційні машини вершиною середньовічної інженерної надійності?
2. **Кінематика гнучких зв'язків:** Опишіть фізичний принцип дії праці на кінці важеля требюше. Поясніть, як стародавні артилеристи використовували відцентрову силу для розриву кінематичного ланцюга. Чому кут нахилу залізного гака, з якого зісковзувало кільце праці, був критично важливим геометричним параметром, що визначав балістичну траєкторію (кут вильоту) снаряда?
3. **Динамічні навантаження та боротьба з віддачею:** Проаналізуйте інженерну проблему гасіння пікової кінетичної енергії (удару важеля об стопор) в одноплечих катапультах. Які емпіричні матеріали використовувалися як амортизатори? Чому жорсткий удар "дерево об дерево" неминуче призвів би до перевищення межі міцності матеріалів і швидкої втоми механізму?
4. **Діалектика руйнування та захисту (Етико-філософський вимір):** Зробіть висновок про те, як розвиток наступальної механіки (металевих машин) стимулював прогрес у цивільній та оборонній архітектурі (зміна геометрії мурів, створення композитних панцирних кладок із земляним ядром-амортизатором). Як цей історичний "двобій меча і щита" ілюструє безперервність інженерного пошуку та фундаментальний обов'язок інженера гарантувати безпеку об'єктів перед лицем нових динамічних загроз?

ЗАТВЕРДЖЕНО Директор ЗПО «ДПТК» —
Олександр СТРИЛЕЦЬ

**МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА ДО САМОСТІЙНОЇ
РОБОТИ СЛУХАЧІВ №2 Дисципліна:** Історія та
культура України Цільова аудиторія: Слухачі (галузь
знань: 13 Механічна інженерія; спеціальність: 131
Прикладна механіка; освітньо-професійний ступінь:
«фаховий молодший бакалавр»)

МОДУЛЬ 2. Механіка ранньомодерної доби: Від вітряків до точних механізмів (XVI – XVIII ст.)
ТЕМА СРС 2.1: Дослідження млинарства (водяні та вітряні млини) як економічного драйвера
ранньомодерної доби

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження розвитку механіки та інженерних рішень у доіндустріальну добу.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Перевірка конспектів, усне опитування на семінарських заняттях, захист результатів аналізу на семінарах.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

До винайдення парової машини млини були єдиними стаціонарними джерелами енергії, що дозволили людству масово замінити мускульну силу на енергію природних стихій. В епоху раннього модерну на українських землях млин перестав бути виключно аграрним знаряддям для перетирання зерна і перетворився на багатофункціональний промисловий хаб (рушій для кузень, сукновалень, тартаків), заклавши основи мануфактурного виробництва.

Для майбутнього інженера-механіка (Спеціальність 131) вітряні та водяні млини становлять винятковий інтерес як перші в історії складні просторові кінематичні системи. Вони вимагали від стародавніх мірошників глибокого емпіричного розуміння аеродинаміки, гідродинаміки, опору матеріалів та трибології (науки про тертя). Самостійна робота спрямована на фаховий інженерний аналіз цих об'єктів. Здобувачі мають дослідити, як саме низькошвидкісний, але масивний рух води чи вітру трансформувався у високошвидкісне обертання важких робочих органів за допомогою виключно дерев'яних зубчастих передач (мультиплікаторів). Розуміння принципів приборкання стихій у доіндустріальну епоху формує професійне бачення автономної, децентралізованої енергетики, що є надзвичайно актуальним завданням для сучасної інженерії.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ МЛИНОВИХ МЕХАНІЗМІВ

Завдання для опрацювання: Проаналізувати кінематичні схеми водяних та вітряних млинів, дослідити інженерну логіку перетворення видів енергії та емпіричне матеріалознавство дерев'яних трансмісій.

2.1. Макрорівень: Приборкання стихій (Аеродинаміка та Гідродинаміка)

Головним викликом для мірошника була взаємодія з нестабільними джерелами енергії.

- **Гідротехніка (Нижньобійні та Верхньобійні колеса):** Ранні нижньобійні колеса просто занурювалися в річку, використовуючи кінетичну енергію природної течії. Їхній ККД був у край низьким. Справжній інженерний прорив відбувся з переходом до верхньобійних (ковшових) коліс. Для їхньої роботи будувалися колосальні земляні дамби, що зупиняли течію і створювали став. З точки зору фізики, це був перехід від використання кінетичної енергії води до її потенційної енергії (енергії маси, піднятої на висоту). Вода падала в ковші, і колесо оберталося не від швидкості течії, а під вагою водяного масиву, генеруючи колосальний крутний момент.
- **Аеродинаміка вітряків (Стовпові та Шатрові):** Природа вітру вимагала створення поворотних механізмів для постійного "ловлення" повітряного потоку. У стовпових вітряках навколо центрального дубового стрижня оберталося вся масивна будівля млина. Наступний еволюційний крок — шатровий вітряк, де будівля стала стаціонарною, а оберталося лише верхня «шапка» з крилами. Крила вітряків мали спеціальний кут атаки (закрутку) та працювали як перші профілі крила, перетворюючи кінетичну енергію вітру на повільний, але незупинний обертальний рух головного вала.

2.2. Мезорівень: Дерев'яна трансмісія (Кінематика та Мультиплікація)

Швидкість обертання водяного колеса чи крил вітряка була надто низькою для ефективного помелу зерна або роботи інших механізмів. Відцентрова сила жорна вимагала високої кутової швидкості.

- **Цівкова передача (Мультиплікатор):** Інженери минулого створили підвищувальний редуктор із дерева. На головному масивному валу встановлювалося велике дерев'яне палечне колесо (з вбитими по колу зубами). Воно зчіплювалося з малим цівковим колесом (шестірнею, що нагадувала барабан із паралельними стрижнями-цівками), жорстко насадженим на вертикальну вісь жорна.
- **Баланс швидкості та крутного моменту:** Ця передача забезпечувала необхідне передаточне відношення: за один повільний оберт крил мале жорно робило десяток швидких обертів. Мірошники емпірично розв'язували фундаментальне рівняння механіки: при збільшенні швидкості неминуче падає тягове зусилля (крутний момент). Якщо жорно було занадто важким, вітер не міг його зрушити; якщо занадто легким — падала якість помелу. Точне налаштування цієї кінематичної пари було ознакою найвищої майстерності.

2.3. Мікрорівень: Трибологія та емпіричне матеріалознавство

Дерев'яна трансмісія працювала в умовах колосальних контактних напружень без металевих підшипників.

- **Біоміметичний підбір матеріалів:** Стельмахи та мірошники ідеально розрізняли механічні властивості деревини. Головний вал та несучі балки робилися з дуба — матеріалу, що чудово чинить опір статичному згину та стиску. Проте для тертьових деталей (пальців та цівок) дуб категорично не підходив через пористість і високий коефіцієнт тертя. Зубчасті передачі виточували з граба, яблуні або білої акації. Ця надзвичайно щільна деревина не розщеплювалася, а під час роботи відполіровувалася до стану кістки. Її природні смоли виступали сухим твердим мастилом, запобігаючи перегріванню та загорянню механізмів у вибухонебезпечному середовищі борошняного пилу.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен екстраполювати досвід створення перших промислових енергоустановок на загальні закони розвитку енергетичної інфраструктури та прикладної механіки. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний конспект/есе на тему: «Млин як перша автономна електростанція: інженерний аналіз енергоперетворення, дерев'яної кінематики та економічного впливу». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного конспекту (Алгоритм виконання):

1. **Гідро- та аеродинамічний аналіз (Енергетика):** З інженерної точки зору поясніть перехід від використання кінетичної енергії води (нижньобійні колеса) до потенційної енергії (верхньобійні колеса). Чому будівництво дамб та ставів стало першим прикладом акумуляції промислової енергії? Поясніть логіку аеродинамічного регулювання вітряків (як і для чого мірошники зменшували площу парусини на крилах під час шторму).
2. **Кінематика трансмісій та матеріалознавство:** Опишіть принцип роботи цівкової передачі. Як стародавнім майстрам вдавалося досягти високої кутової швидкості важкого жорна, маючи на вході вкрай повільне обертання головного вала? Проаналізуйте вибір деревини (дуб проти яблуні/граба) для різних вузлів млина. Як це демонструє емпіричне розуміння стародавніми інженерами явища тертя (трибології) та втоми матеріалів?
3. **Економіко-соціальний вимір (Етика та сталий розвиток):** Зробіть висновок про роль млинарства як економічного драйвера. Поясніть, як здатність перетворювати енергію стихій на механічну роботу звільнила колосальні людські ресурси та дала поштовх розвитку супутніх мануфактур (ковальських, лісопилних, текстильних). Проведіть інженерну паралель: як історичний досвід автономних млинів у кожній громаді перегукується із сучасною концепцією децентралізованої «зеленої» енергетики (сонячних та вітрових станцій) для забезпечення енергетичної безпеки України?

ТЕМА СРС 2.2: Аналіз цехового самоврядування зброярів та механізмів мануфактурного виробництва (гути, ковальні)

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження розвитку механіки та інженерних рішень у доіндустріальну добу.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).

- **Форма контролю:** Перевірка аналітичних конспектів, захист логічних висновків та есе на семінарських заняттях.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Епоха раннього модерну та часи існування Козацької держави стали періодом зародження вітчизняної важкої промисловості та інституціоналізації інженерної професії. Виготовлення вогнепальної зброї, артилерії, складної холодної зброї та аграрних механізмів більше не могло спиратися на хаотичну працю індивідуальних ковалів. Виникла нагальна потреба у стандартизації якості, розподілі праці та захисті інтелектуальної власності. Відповіддю на ці виклики стало створення ремісничих цехів (зокрема, цехів зброярів, ковалів, людвисарів) у містах із Магдебурзьким правом, а також поява перших механізованих мануфактур — гамарень та рудень.

Для здобувачів спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця тема розкриває глибокий історичний фундамент сучасних систем управління якістю (QMS), стандартизації та інженерної етики. Самостійна робота вимагає здійснити фаховий аналіз переходу від ручного ремесла до машинного мануфактурного виробництва, де енергія води через складні кінематичні системи приводила в дію важкі промислові механізми. Слухач повинен дослідити цеховий статут не просто як історичний документ, а як перший вітчизняний прототип технічних умов (ТУ) та Державних стандартів (ДСТУ), що регламентував допуски, матеріалознавчі вимоги та персональну відповідальність майстра за безпеку експлуатації вироблених механізмів.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ ЦЕХІВ ТА МАНУФАКТУР

Завдання для опрацювання: Проаналізувати принципи цехового самоврядування як ранньої форми технічної стандартизації, дослідити кінематику механізмів мануфактурного виробництва та технології металообробки ранньомодерної доби.

2.1. Макрорівень: Інституціоналізація професії та контроль якості (Цеховий устрій)

Цех зброярів або ковалів не був звичайною профспілкою; це була жорстка інженерно-технічна корпорація з власною юрисдикцією, таємницями технологій та стандартами.

- **Система технічної сертифікації:** Шлях від учня до підмайстра і, зрештою, до майстра тривав роками і був аналогом сучасної інженерної освіти та ліцензування. Щоб отримати звання майстра, кандидат мусив виготовити «шедевр» — еталонний виріб (наприклад, складний колісцевий замок для мушкета або бездоганно збалансовану шаблю), який прискіпливо перевіряла комісія найдосвідченіших інженерів цеху на предмет відповідності жорстким геометричним та металургійним стандартам.
- **Клеймування як гарантія надійності:** Кожен майстер мав особисте тавро (клеймо). У зброярстві це мало критичне значення: якщо ствол мушкета або гармата розірвалися під час бою через приховані мікротріщини або непровар шва, клеймо дозволяло миттєво ідентифікувати виробника. Відповідальність за технічний брак була колосальною — від великих штрафів до вигнання з цеху та втрати права на професію. Це формувало найвищий рівень інженерної етики та нульову толерантність до халтури.
- **Захист технологій (Ноу-хау):** Цехи суворо охороняли секрети термічної обробки металів (загартування, відпуску), склади флюсів для зварювання та креслення механізмів, виступаючи першими інституціями із захисту інтелектуальної власності.

2.2. Мезорівень: Автоматизація та просторова кінематика (Гамарні та Рудні)

Масове виробництво зброї та інструментів вимагало переходу до мануфактурного типу виробництва, серцем якого став гідропривід.

- **Кінематика важких молотів:** Викоування великих масивів сталі (криць) неможливо було здійснити ручними молотами. Інженери Козацької доби створили систему гамарень (водяних кузень). Обертний рух водяного колеса передавався на масивний дубовий головний вал. На валу монтувалися дерев'яні або залізні кулачки. Обертаючись, кулачок наїжджав на хвіст довгого важеля, піднімаючи важкий залізний бойок (вагою до кількох сотень кілограмів), акумулюючи потенційну енергію. Коли кулачок сходив із важеля, молот під дією гравітації завдавав нищівного удару по розпеченій заготовці на ковадлі. Це був перший крок до повної механізації ковальсько-пресового виробництва.
- **Механізація дуття (Міхи):** Ті ж самі кулачкові механізми використовувалися для попереминого стискання величезних шкіряних міхів. Це забезпечувало безперервний, пульсуючий потік кисню під високим тиском у плавильні печі (домниці), дозволяючи досягати екстремально високих температур, необхідних для якісного лиття гармат та виплавки сталі.

2.3. Мікрорівень: Емпіричне матеріалознавство (Балістика та Металургія)

Виробництво зброї вимагало глибокого розуміння фізики опору матеріалів та внутрішньої балістики.

- **Композитна міцність клинків:** Зброярі емпірично застосовували принципи композитних матеріалів (аналоги дамаської сталі). Вони розуміли, що монолітний клинок із

високовуглецевої сталі буде твердим, але крихким (зламається при ударі), а з низьковуглецевої — гнучким, але не триматиме гостроту. Вирішенням стало ковальське зварювання (багаторазове проковування) пакетів із різних сортів сталі. Серцевина робилася м'якою (для гасіння вібрацій та ударних навантажень), а леза — надтвердими (цементация).

- **Стійкість гарматних стволів:** Відливання гармат вимагало ідеального розрахунку товщини стінок (епюри напружень). Інженери-людвигари робили казенну частину (де відбувається вибух пороху і тиск газів є максимальним) надзвичайно масивною, поступово зменшуючи товщину металу до дульного зрізу, де тиск падає. Цей принцип рівномірної конструкції дозволяв економити дорогу бронзу чи чавун, забезпечуючи абсолютну надійність при пострілі.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен екстраполювати принципи організації мануфактурного виробництва та цехової стандартизації на реалії сучасного машинобудування та інженерного менеджменту. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Від цехового майстра до сучасного інженера-технолога: історичний аналіз еволюції систем управління якістю, стандартизації та автоматизації механічних процесів». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Кінематика та автоматизація виробництва:** З позиції прикладної механіки проаналізуйте кінематичну схему водяної гамарні. Поясніть логіку перетворення безперервного обертового руху водяного колеса на потужний зворотно-поступальний рух хвостового молота. Чому саме винайдення кулачкового вала (розподільчого вала) стало фундаментальною передумовою для переходу від одиничного ремісничого до масового машинного (мануфактурного) виробництва інструментів та зброї?
2. **Стандартизація та контроль якості (Системи QMS):** Проведіть інженерну паралель між старовинною цеховою системою (іспит на звання майстра, затвердження «шедевра», жорсткі статутні вимоги до матеріалів) та сучасними міжнародними стандартами якості (наприклад, ISO 9001). Чому маркування виробів особистим клеймом було не просто питанням престижу, а жорстким механізмом забезпечення експлуатаційної безпеки та гарантією від втомного чи крихкого руйнування металу в бойових умовах?
3. **Інженерна етика та інтелектуальна власність:** Проаналізуйте соціальний статус та етику майстра-зброяря у ранньомодерному місті. Як корпоративний захист технологічних секретів (рецептів сплавів, режимів загартування) у цехах співвідноситься із сучасним патентним правом та комерційною таємницею у сфері високих технологій та оборонно-промислового комплексу (ОПК)? Сформулюйте висновок про те, як історичний принцип персональної відповідальності майстра за свій виріб має відображатися в етичному кодексі сучасного українського фахівця з прикладної механіки.

ТЕМА СРС 2.3: Опрацювання схем регуляторів ходу та дослідження еволюції точної механіки у годинникарстві

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження еволюції транспортної, точної механіки та впливу індустріалізації.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикаторм).
- **Форма контролю:** Перевірка звітів, захист результатів аналізу на семінарах.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Усі механізми, які людство створювало до епохи Відродження (млини, підйомні крани, металеві машини), мали одну спільну рису: вони були макромеханічними і фокусувалися на генерації або передачі максимальної сили для виконання грубої фізичної роботи. Годинникарство радикально змінило парадигму інженерної думки, ставши першою в історії галуззю точної мікромеханіки. Перед винахідниками постало принципово нове завдання: енергію (вагу гирі або пружність стисненої пружини) потрібно було не вивільнити миттєво, а навпаки — жорстко обмежити, перетворивши безперервний тиск на серію строго дозованих, мікроскопічних кінематичних імпульсів.

Для майбутнього фахівця спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця самостійна робота є зануренням у витоки сучасного приладобудування та теорії автоматичного керування. Годинник став першим автономним автоматом, що працював за принципом зворотного зв'язку. Здобувачу належить здійснити глибокий аналіз найскладнішого вузла цієї системи — регулятора ходу (спускового механізму або ескапмента). Розуміння того, як стародавні майстри без вищої математики долали руйнівне тертя,

усували кінематичні "відкоти" та емпірично застосовували принцип ізохронності коливань, формує професійну повагу до точності, допусків та чистоти обробки матеріалів у сучасному машинобудуванні.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ МІКРОМЕХАНІКИ

Завдання для опрацювання: Проаналізувати еволюцію кінематичних схем регуляторів ходу, дослідити фізичну сутність перетворення безперервного руху на переривчастий та оцінити матеріалознавчі аспекти боротьби з тертям у точних механізмах.

2.1. Макрорівень: Проблема акумуляції та дозованого вивільнення енергії

Будь-який механічний годинник складається з трьох базових систем: джерела енергії, колісної трансмісії та регулятора.

- **Гравітаційний привід:** Первинним джерелом енергії був масивний барабан із намотаним канатом і важкою гирею. Сила земного тяжіння створювала постійний крутний момент, намагаючись розкрутити барабан із прискоренням вільного падіння.
- **Парадокс безконтрольної трансмісії:** Якби трансмісію (систему зубчастих коліс) не стримували, гиря впала б за кілька секунд, розкрутивши шестерні до руйнівної швидкості. Головна інженерна проблема полягала у створенні "гальма", яке б не просто зупиняло систему, а робило б це циклічно і з абсолютно рівними інтервалами часу. Трансмісія мала діяти як понижувальний редуктор швидкості і водночас як передавач сили від гирі до регулятора.

2.2. Мезорівень: Еволюція спускових механізмів (Ескапментів)

Регулятор ходу — це серце механізму, кінематична пара, яка здійснює дискретне перетворення енергії.

- **Шпindelний спуск (Verge escapement):** Найдавніший регулятор. Складався з коронного (зубчастого) колеса, яке оберталося горизонтально, та вертикальної осі (шпінделя) з двома плоскими лопатками (палетами). Зуб колеса штовхав першу лопатку, вісь оберталася, доки друга лопатка не входила в зачеплення і не зупиняла колесо. *Головний інженерний недолік — ефект «відкоту».* Після удару зуба об лопатку, інерція масивного коромисла (фолію) змушувала всю систему зубчастих коліс і навіть важку гирю на долю секунди прокрутитися у зворотному напрямку. Це створювало колосальне тертя ковзання, нищило зубці та унеможливлювало високу точність.
- **Анкерний спуск (Anchor escapement):** Революційний кінематичний стрибок. Інженери розташували ходове колесо та якірну вилку (анкер) в одній площині. Зубці колеса стали плоскими, а палети анкера отримали спеціально розрахований кут скошу (імпульсну площину). *Кінематика без відкоту:* Коли зуб колеса падає на палету, він не вдарається "в стіну" з наступним відкотом назад, а плавно ковзає по похилій площині. Це ковзання генерує м'який мікроімпульс, який відштовхує анкер. Тертя радикально знизилося, а кут коливання маятника зменшився з великих розмахів до кількох градусів, що різко підвищило точність ходу.

2.3. Мікрорівень: Ізохронність коливань та трибологія матеріалів

Створення ідеального спускового механізму не мало б сенсу без стабільного еталона часу.

- **Маятник як диктатор ритму:** Відкриття фізичного закону ізохронності коливань (незалежності періоду коливання маятника від амплітуди його розмаху при малих кутах) стало фундаментом точної механіки. У системі з анкерним спуском маятник відіграє роль задатчика ритму. Опір повітря та тертя у підвісі гасять його коливання, але анкерний спуск за кожен такт передає маятнику крихітну порцію енергії від гирі, компенсуючи ці втрати. Маятник "підпорядковує" собі всю неточну зубчасту трансмісію.
- **Трибологія точної механіки:** Для зменшення тертя інженери почали застосовувати емпіричний підбір антифрикційних пар матеріалів. Відмовившись від заліза по залізу, вони перейшли до використання латуні для великих коліс та загартованої високополірованої сталі для малих шестерень (трибів). Пара "сталь-латунь" мала в рази менший коефіцієнт тертя і високу стійкість до корозії.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен перевести описи історичних мікромеханізмів у площину сучасного інженерного аналізу, оцінивши їх як перші системи автоматики з кінематичним зворотним зв'язком. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Від ковальського металу до прецизійної кінематики: інженерний аналіз еволюції регуляторів ходу та зародження точної механіки». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Кінематика перетворення енергії:** З позиції прикладної механіки поясніть різницю між роботою шпindelного та анкерного спусків. Опишіть руйнівну фізичну суть явища "кінематичного відкоту" у ранніх годинниках. Як геометрична зміна форми робочих поверхонь

(створення похилих імпульсних площин на палетах анкера) дозволила перетворити жорсткий удар зуба на плавне ковзання та усунула зворотний рух трансмісії?

2. **Закони фізики як інструмент інженера:** Проаналізуйте використання принципу ізохронності. Як здатність вільно підвішеного маятника зберігати стабільний період коливання допомогла інженерам нівелювати огріхи виготовлення зубчастих коліс? Опишіть цей цикл "симбіозу": як спуск підживлює маятник енергією, а маятник натомість диктує спуску математично точний ритм розблокування ходового колеса.
3. **Термодинаміка та вплив середовища:** Як зміна температури навколишнього середовища (термічне розширення та стискання металів) впливала на довжину металевого стрижня маятника і, відповідно, на похибку приладу? Поясніть логіку виникнення потреби в компенсаційних механізмах (наприклад, використанні дерев'яних стрижнів, що менше реагують на температуру).
4. **Етико-професійний вимір (Стандартизація та допуски):** Зробіть висновок про те, як потреби годинникарства вплинули на загальне машинобудування. Поясніть, чому створення анкерного спуску вимагало переходу від ручного випилювання зубців напилком до винайдення перших ділильних дисків і зубофрезерних пристроїв. Як ця історична боротьба за мікронну точність формує сучасну культуру виробництва та етику інженера-механіка щодо дотримання жорстких допусків і посадок?

ТЕМА СРС 2.4: Вплив транспортної логістики (механіка козацького воза-мажі) на розбудову та розвиток вільних міст

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження еволюції транспортної, точної механіки та впливу індустріалізації.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикаторм).
- **Форма контролю:** Захист результатів аналізу на семінарах, перевірка звітів.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Транспортна логістика в усі епохи слугувала кровоносною системою цивілізації. Економічна незалежність та розквіт самоврядних міст (з Магдебурзьким правом) у ранньомодерну добу безпосередньо залежали від здатності міщан та купецьких гільдій здійснювати масований і безперервний транзит товарів на великі відстані. До появи залізниць та доріг із твердим покриттям головним інструментом цієї логістики на українських землях була чумацька мажа — великовантажний гужовий транспорт, здатний перевозити до однієї тонни вантажу (сіль, рибу, зерно) в екстремальних умовах степового бездоріжжя.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» козацька мажа становить унікальний приклад доіндустріальної композитної інженерії. Головний технічний виклик полягав у тому, щоб створити транспортний засіб величезної вантажопідйомності без застосування сталевих пружинних ресор чи амортизаторів, які б могли поглинати удари від нерівностей рельєфу. Ця самостійна робота вимагає від здобувача здійснити фаховий структурно-кінематичний аналіз стародавнього воза, щоб зрозуміти, як емпірична комбінація різних порід деревини, гарячого металу та сиром'ятної шкіри дозволила розв'язати проблему динамічної втоми матеріалів. Розуміння цих принципів формує світогляд сучасного інженера, доводячи, що надійність складної системи часто досягається не жорсткістю, а контрольованою пружністю та глибоким знанням трибологічних процесів.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ ДОІНДУСТРІАЛЬНОЇ ЛОГІСТИКИ

Завдання для опрацювання: Проаналізувати механіку конструкції чумацької мажі, емпіричні способи подолання динамічних навантажень без ресорної підвіски та вплив надійної логістики на урбанізацію.

2.1. Макрорівень: Транспортна механіка як фактор містобудування

Здатність транспортувати колосальні обсяги товарів безпосередньо диктувала просторову та соціальну архітектуру вільних міст.

- **Логістичні вузли та інфраструктура:** Масовий рух важких маж вимагав будівництва надійних мостів, мощення центральних ринкових площ та головних артерій міст масивним каменем (бруківкою), оскільки вузькі колеса під вагою в тонну миттєво перетворювали ґрунтові вулиці на непрохідне болото.
- **Економічна автономія:** Саме надійний, довговічний і ремонтпридатний транспорт дозволив українським містам перейти від натурального господарства до глобальної макроекономіки (експорту-імпорту). Акумуляований завдяки транзитній торгівлі капітал ставав гарантією

політичної незалежності міських магістратів та фінансуванням розбудови монументальної оборонної та цивільної інфраструктури.

2.2. Мезорівень: Статика і динаміка безресорної підвіски (Тектоніка мажі)

Створення кузова та шасі, які не руйнуються від вібрацій, стало шедевром емпіричного опору матеріалів.

- **Принцип "гнучкого моноліту":** Найбільшою помилкою було б з'єднати деталі мажі жорсткими залізними болтами чи цвяхами. В умовах високочастотних вібрацій на кам'янистому ступі жорсткі металеві кріплення швидко б зруйнували клітинну структуру деревини, що призвело б до крихкого зламу. Стельмахи використовували виключно дерев'яні шипові з'єднання, стягнуті гужвами (кільцями з розпареної сиром'ятної шкіри). Висихаючи, шкіра намертво стягувала деталі, але зберігала мікроскопічну еластичність. Ця система діяла як доісторичний сайлентблок — дозволяла рамі воза просторово вигинатися, поглинаючи та розсіюючи кінетичну енергію ударів.
- **Оптимізація згинальних моментів:** Дерев'яна вісь працювала як балка на двох опорах. Інженери минулого емпірично винайшли профіль рівного опору: вісь мажі ніколи не була ідеально рівним циліндром. Вона була надзвичайно товстою по центру (де згинальний момент від ваги вантажу є максимальним) і плавно звужувалася до цапф (кінців, на які насаджувалися колеса), що дозволяло мінімізувати вагу самого воза без втрати несучої здатності.

2.3. Мікрорівень: Трибологія та термодинаміка колісної пари

Колесо мажі — це найскладніший просторовий вузол, що зазнавав екстремальних багатовекторних навантажень.

- **Просторова геометрія (Конусоподібність):** Колеса важких возів проєктувалися не плоскими, а у формі зрізаного конуса (спиці вставлялися в маточину під кутом назовні). Це геніальне рішення протидіяло поперечним силам. Коли віз кренився на вибоїні, найнижча спиця ставала ідеально перпендикулярно до землі, приймаючи на себе колосальну вагу виключно на стиск (де міцність дерева найвища), а не на злам.
- **Термічне шинування:** Для захисту дерев'яного обода від стирання об каміння застосовувалася технологія гарячого насаджування залізної шини. Коваль розігрівав сталевий обруч до червоного розжарення (метал розширювався), накидав його на дерев'яне колесо і миттєво охолоджував водою. Метал різко стискався, з величезною відцентровою силою вдавлюючи спиці в маточину. Колесо перетворювалося на жорстку попередньо напружену композитну конструкцію.
- **Керування тертям:** Статичний тиск на осі був настільки великим, що сухе тертя дерева об дерево миттєво призвело б до обвуглювання та займання осей. Регулярне застосування густого дьогтю забезпечувало режим граничного (рідинного) тертя, відводило тепло і рятувало транспортну логістику від краху.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен перевести описи історичного транспортного засобу в площину професійного інженерного аналізу, оцінивши козацьку мажу як складну багатокомпонентну систему. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Транспортна механіка як економічний рушій: інженерний аналіз козацької мажі та її роль у розбудові вільних міст». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Опір матеріалів та гасіння динамічних ударів:** З позиції прикладної механіки поясніть, чому повна відмова від жорстких залізних кріплень на користь системи дерев'яних замків та шкіряних гужів стала єдиним правильним рішенням для створення великовантажного воза без ресор. Опишіть фізику явища втоми матеріалів: що сталося б із масивними дубовими дошками, якби вони були жорстко стягнуті залізними болтами під час безперервної багатогодинної вібрації?
2. **Трибологія та композитна міцність:** Проаналізуйте інженерну логіку створення колісної пари. Поясніть фізичну суть технології гарячого шинування (використання властивості термічного розширення/стискання металів). Як охолоджене залізо діяло на дерев'яні деталі колеса? Окремо опишіть процес тертя в маточині та роль мастила (дьогтю) у запобіганні термодеградації (загоряння) дерев'яних осей.
3. **Соціально-економічний вимір інженерії:** Сформулюйте аргументований висновок про те, як розв'язання суто технічних і механічних проблем (створення надійного далекобійного транспорту) стало фундаментом економічного процвітання та міської незалежності. Проведіть

паралель із сьогоденням: чому в сучасній державі розвиток інфраструктури та створення надійних, високоефективних транспортних засобів (від вантажівок до залізниці) залишається головною умовою економічного суверенітету та сталого розвитку вільних міст?

ЗАТВЕРДЖЕНО Директор ЗПО «ДПТК» —
Олександр СТІЛЕЦЬ

**МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА ДО САМОСТІЙНОЇ
РОБОТИ СЛУХАЧІВ №3 Дисципліна:** Історія та
культура України Цільова аудиторія: Слухачі (галузь
знань: 13 Механічна інженерія; спеціальність: 131
Прикладна механіка; освітньо-професійний ступінь:
«фаховий молодший бакалавр»)

МОДУЛЬ 3. Промислова революція та розквіт динаміки машин (XIX – середина XX ст.)

ТЕМА СРС 3.1: Аналіз впливу індустріалізації, впровадження парових машин на права робітників заводів і шахт Донбасу

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження еволюції транспортної, точної механіки та впливу індустріалізації.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Захист результатів аналізу на семінарах, перевірка звітів.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Впровадження парових машин у XIX столітті стало наймасштабнішим технологічним зламом в історії, який докорінно змінив не лише фізику виробництва, але й соціальну структуру суспільства. На Півдні та Сході України (зокрема, в Юзівці, Катеринославі, Луганську) стрімка індустріалізація перетворила дикі степи на гігантські металургійні та вугільні хаби. Проте за цим технічним тріумфом стояла глибока гуманітарна криза. Уперше в історії темп і ритм праці людини почала диктувати не природа (світловий день чи сезонність), а безперервна, невтомна робота термодинамічної машини.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця самостійна робота є фундаментальним зануренням у витoki інженерної етики та зародження системи охорони праці (ОП). Здобувачі мають проаналізувати зворотний бік технічного прогресу: як відсутність елементарних систем аварійного блокування, ігнорування концентраторів напружень у парових котлах та шахтних клітках приносили в жертву життя некваліфікованих робітників заради надприбутків. Розуміння історії боротьби шахтарів і металургів Донбасу за свої права дозволяє сучасному інженеру усвідомити, що будь-який технічний регламент, допуск чи правило безпеки на сучасному виробництві буквально «написані кров'ю» попередніх поколінь. Інженерія — це не лише про те, як змусити механізм працювати, а й про те, як захистити людину від його руйнівної сили.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНО-СОЦІАЛЬНА АНАТОМІЯ ІНДУСТРІАЛІЗАЦІЇ

Завдання для опрацювання: Проаналізувати вплив термодинамічних установок на інтенсифікацію праці, дослідити технічні причини масового травматизму на заводах і в шахтах та процес формування соціально-правових вимог до безпеки механізмів.

2.1. Макрорівень: Термодинаміка та ритм машинної ери

Доіндустріальне ремесло покладалося на мускульну силу, яка має природні межі витривалості та потребує відпочинку. Парова машина зруйнувала цей біологічний бар'єр.

- **Безперервність циклу:** Паровий котел, одного разу розігрітий вугіллям, економічно не вигідно зупиняти. Щоб підтримувати високий тиск пари і максимальний ККД, металургійні печі та парові приводи прокатних станів мали працювати цілодобово. Це породило систему виснажливих змінних графіків (по 12–14 годин). Робітник перетворився на біологічний "додаток" до кривошипно-шатунного механізму, змушений підлаштовувати свою фізіологію під незупинний обертальний рух маховика.
- **Фізичне виснаження та втрата концентрації:** Колосальний рівень шуму, вібрації від важких парових молотів та екстремальні температури в цехах призводили до швидкого виснаження нервової системи. У стані втоми людина втрачала пильність поруч із відкритими пасовими та зубчастими передачами, що ставало головною причиною масових каліцтв на ранніх етапах індустріалізації.

2.2. Мезорівень: Технічна небезпека та експлуатаційні катастрофи (Донбас)

Вугільні шахти та металургійні заводи стали епіцентрами інженерних викликів, до яких суспільство було технічно не готове.

- **Вибухи парових котлів:** Намагаючись максимізувати потужність машин, власники змушували кочегарів піднімати тиск пари до критичних позначок. Ранні котли мали клепані шви (без дефектоскопії). Втома металу та відсутність надійних запобіжних клапанів (що автоматично стравлювали б надлишковий тиск) призводили до катастрофічних розривів котлів, які розносили цехи та забирали десятки життів одночасно. Це змусило інженерів згодом створити інститут «Котлонагляду» — першу незалежну технічну інспекцію.
- **Шахтні підйомники (Кліті):** Спуск у шахти здійснювався паровими лебідками. Сталеві троси (канати) працювали в умовах агресивного вологого середовища та знакозмінних навантажень (постійні вигини на шківках). Через брак знань про втому металу та корозію, троси часто рвалися. Відсутність автоматичних парашутних (гальмівних) систем на клітях призводила до вільного падіння шахтарів у стовбур шахти.
- **Вентиляція та газова небезпека:** Видобуток вугілля на великих глибинах супроводжувався виділенням метану. Парові вентилятори часто не справлялися з обсягами, а іскри від примітивних інструментів або використання відкритого вогню спричиняли масові підземні вибухи газу та вугільного пилу.

2.3. Мікрорівень: Соціальний вибух і зародження трудового права

Техногенні умови праці неминуче породили соціальний супротив.

- **Від бунту до профспілок:** Перші робітничі страйки на підприємствах Півдня та Сходу (наприклад, на заводі Джона Юза) часто мали стихійний характер руйнування машин ("луддизм"), які сприймалися як джерело страждань. Згодом рух еволюціонував. Робітники почали висувати чіткі інженерно-правові вимоги: встановлення захисних кожухів на обертові деталі верстатів, нормальна вентиляція штреків, компенсації за виробничий травматизм та скорочення робочого дня.
- **Нова етика інженера:** Під тиском робітничого руху та через величезні економічні збитки від аварій, власники фабрик змушені були змінити підхід до проєктування. Інженери отримали нове завдання — конструювати не лише продуктивну, але й безпечну техніку. Так зародилася інженерія охорони праці, яка зробила безпеку людини невіддільною технічною характеристикою будь-якої машини.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен перевести соціально-історичні факти в площину сучасного інженерного аналізу, оцінивши наслідки ігнорування норм безпеки та етики. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Машина проти людини: вплив індустріалізації на формування інженерної етики, норм охорони праці та захист прав робітників». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Термодинаміка та ритм експлуатації:** З інженерної точки зору поясніть, чому впровадження парових машин (у порівнянні з водяними колесами або ручною працею) призвело до екстремальної інтенсифікації та подовження робочого дня. Як безперервний характер теплових процесів вплинув на фізіологічне виснаження некваліфікованих робітників, що обслуговували конвеєри та верстати?
2. **Технічні катастрофи як каталізатор права:** Проаналізуйте причини аварій на вугільних шахтах (розриви канатів кліті) та заводах (вибухи парових котлів). Поясніть логіку виникнення перших органів державного нагляду (наприклад, Котлонагляду). Чому технічна експертиза механізмів, вивчення втоми матеріалів та запровадження обов'язкових запобіжних клапанів стали першим кроком до захисту базового права робітника — права на життя?
3. **Соціальна відповідальність сучасного інженера:** Спираючись на історичний досвід боротьби робітників Донбасу за безпечні умови праці, сформулюйте морально-правовий обов'язок сучасного фахівця з прикладної механіки. Як сьгодні міжнародні стандарти (наприклад, ISO 45001 з безпеки та гігієни праці) та жорсткі інженерні регламенти (встановлення захисних бар'єрів, датчиків автоматичного вимкнення верстатів з ЧПК) відображають остаточну перемогу принципу пріоритету людського життя над технологічною швидкістю чи економічною вигодою підприємства?

ТЕМА СРС 3.2: Систематизація наукових досягнень українських шкіл прикладної механіки (Харків, Київ, Львів) та теорії міцності

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження еволюції транспортної, точної механіки та впливу індустріалізації.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикаторм).
- **Форма контролю:** Захист результатів аналізу на семінарах, перевірка звітів.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

До другої половини XIX століття конструювання машин і споруд значною мірою спиралося на емпіричний досвід — метод проб і помилок. Майстри-практики закладали інтуїтивні, багаторазові запаси міцності, створюючи надмірно масивні механізми. Проте стрімка індустріалізація, поява швидкохідних паротягів, важких прокатних станів та перших турбін вивели інженерію за межі повсякденного досвіду. Метал під дією колосальних швидкостей та вібрацій почав поводитися непередбачувано, що призводило до катастрофічних руйнувань, які неможливо було пояснити старими ковальськими правилами. Виникла гостра потреба у фундаментальній науці про машини.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця самостійна робота є етапом усвідомлення власної наукової спадщини. Саме на українських землях — у стінах Київського, Харківського та Львівського політехнічних інститутів — формувалися передові світові школи опору матеріалів, теорії пружності та динаміки машин. Імена таких видатних учених, як Степан Тимошенко (фундатор сучасної теорії пружності) та Віктор Кирпичов (організатор вищої інженерної освіти), назавжди вписані у світову історію техніки. Здобувачу належить систематизувати їхній внесок та проаналізувати концептуальний перехід від сліпого нарощування маси металу до математично і фізично обґрунтованого проєктування, що дозволило створювати легкі, швидкохідні та абсолютно надійні механічні системи.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ НАУКОВИХ ШКІЛ

Завдання для опрацювання: Дослідити процес інституціоналізації інженерної освіти в Україні, проаналізувати фундаментальні зрушення в розумінні фізики деформацій та систематизувати внесок вітчизняних учених у прикладну механіку.

2.1. Макрорівень: Інституціоналізація та філософія інженерної освіти

Створення політехнічних інститутів у Харкові (1885 р.) та Києві (1898 р.) під керівництвом видатного механіка Віктора Кирпичова стало точкою неповернення в підготовці технічної еліти.

- **Синтез теорії та експерименту:** До цього часу технічна освіта часто зводилася до вузького ремісництва або відірваної від життя теоретичної фізики. Вітчизняна політехнічна школа запровадила принципово новий формат: інженер мусив володіти глибоким математичним апаратом для розрахунків, але його розрахунки обов'язково мали підтверджуватися в спеціально створених лабораторіях випробування матеріалів. Це поклало край епосі «проєктування на око».
- **Відмова від «мертвої ваги»:** Філософія нових наукових шкіл стверджувала, що надмірний запас міцності — це ознака інженерного невігластва. Нагромадження металу не робить швидкохідну деталь міцнішою, а лише збільшує сили інерції та відцентрові навантаження, що парадоксальним чином прискорює руйнування машини. Ідеальне проєктування стало розумітися як створення конструкції рівного опору, де кожен грам металу виконує корисну роботу.

2.2. Мезорівень: Революція в Опорі матеріалів та Теорії пружності

Класична (європейська) статика XIX століття часто розглядала балки та осі як ідеальні математичні лінії, що згинаються за спрощеними законами. Для тонких прутків це працювало, але для товстих валів локомотивів чи високих сталевих колон — ні.

- **Теорія балок Тимошенка:** Видатний український учений Степан Тимошенко (працюючи в Київському політехнічному інституті) здійснив прорив світового рівня. Він довів, що при згині товстих і коротких металевих балок не можна нехтувати так званими «деформаціями зсуву» (коли шари металу ніби ковзають один відносно одного) та інерцією їхнього обертання під час динамічних коливань. Врахування цих невидимих фізичних ефектів дозволило проєктувати масивні корабельні та машинні вали, уникаючи їхнього раптового зламу.
- **Боротьба з втратою стійкості:** Інша фундаментальна проблема, яку розв'язували вітчизняні наукові школи, — це поведінка тонкостінних оболонок та довгих стрижнів під дією стискування. Інженери минулого не розуміли, чому міцна сталева колона раптово вигинається вбік і ламається під навантаженням, значно меншим за границю міцності металу. Роботи українських

учених з теорії пружної стійкості дали точні методи прогнозування цього явища (поздовжнього згину), відкривши шлях до створення легких та надійних просторових ферм і каркасів.

2.3. Мікрорівень: Динаміка машин та втома металів

Перехід від статичних навантажень до динамічних (швидкісне обертання, вібрації, удари) вимагав нової фізичної парадигми.

- **Хвильова природа напружень:** Вітчизняні вчені дослідили, що динамічний удар (наприклад, колеса вагона об стик рейки) не поширюється по всій деталі миттєво і рівномірно. Він діє як пружна хвиля. Якщо ця хвиля зустрічає різку зміну геометрії (наприклад, гострий кут або отвір у сталевій осі), виникає концентрація напружень, яка локально перевищує міцність металу в кілька разів, хоча загальне навантаження залишається в межах норми.
- **Клінічна картина втоми:** Регулярні лабораторні випробування дозволили українським школам систематизувати знання про втому металу. Було науково доведено, що під дією знакозмінних навантажень (коли деталь постійно то розтягується, то стискається) у зоні концентраторів напружень виникають мікротріщини. З кожним обертом вала тріщина невидимо проростає всередину, аж поки здорового перерізу металу стає недостатньо, і деталь відламується з ідеально гладким зламом. Розуміння цієї механіки назавжди змінило правила профілювання деталей машинобудування (зокрема, запровадження обов'язкових заокруглень — галтелей — замість прямих кутів).

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен систематизувати історичні досягнення українських інженерно-наукових шкіл та екстраполювати їхні філософські й технічні принципи на сучасні виклики прикладної механіки. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Від ремісничої інтуїції до фундаментальної науки: внесок українських політехнічних шкіл у становлення сучасної теорії міцності та динаміки машин». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Еволюція інженерного мислення:** Концептуально порівняйте емпіричний (ремісничий) підхід до конструювання механізмів із науково обґрунтованим підходом. Поясніть, чому саме стрімка індустріалізація (поява швидкісного транспорту та важкої промисловості) зробила застарілим метод «додаткового потовщення металу» та викликала гостру потребу у відкритті спеціалізованих політехнічних інститутів (у Харкові, Києві, Львові).
2. **Опір матеріалів як наука про безпеку:** Спираючись на концепції С. Тимошенка та інших учених, опишіть фізичну сутність переходу від статичної до складної динаміки пружного тіла. Поясніть без використання формул, чому врахування невидимих деформацій зсуву (перекосу волокон металу) та явища втрати стійкості стало критично важливим для уникнення раптового колапсу масивних валів машин та високих будівельних опор.
3. **Етика наукового проєктування (Динаміка і Втома):** Проаналізуйте важливість вивчення втоми металів у лабораторних умовах. Чому знання про концентратори напружень та хвильову природу ударів є основою професійної етики сучасного фахівця з прикладної механіки? Зробіть висновок про те, як наукова спадщина українських політехнічних шкіл XIX – початку XX століття продовжує щодня рятувати людські життя, втілюючись у сучасних нормах проєктування деталей машин, осей, роторів турбін та несучих металоконструкцій.

ТЕМА СРС 3.3: Економічний аналіз машинобудівних підприємств XIX ст. (виробництво сільськогосподарських машин, заводи Ельворті)

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження еволюції транспортної, точної механіки та впливу індустріалізації.
- **Загальний обсяг часу на напрямок:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикаторм).
- **Форма контролю:** Захист результатів аналізу на семінарах, перевірка звітів.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Друга половина XIX століття ознаменувалася небаченим економічним бумом на українських землях, який спирався не лише на видобуток вугілля чи металургію, але й на масове машинобудування для потреб аграрного сектору. Дикі степи перетворювалися на житницю Європи, що вимагало радикальної інтенсифікації обробітку землі. Старе ремісничє виробництво (сільські ковалі та стельмахи) фізично не могло задовольнити попит на складні, надійні та точні механізми. Відповіддю на цей виклик стала

поява гігантських машинобудівних підприємств, яскравим еталоном яких є завод братів Роберта і Томаса Ельворті у Єлисаветграді (сучасний Кропивницький).

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» цей історичний період є класичним прикладом того, як інженерна думка безпосередньо формує макроекономіку. Створення сівалок, жаток та молотарок вимагало переходу від індивідуального підгонки кожної деталі до серійного конвеєрного виробництва, стандартизації та створення мережі сервісного обслуговування. Ця самостійна робота вимагає від здобувача здійснити фаховий економіко-інженерний аналіз: дослідити, як принцип взаємозамінності деталей знизив собівартість продукції, як точна кінематика дозаторів насіння зекономила мільйони тонн посівного матеріалу в масштабах країни, та як інженер-конструктор перетворився на головного рушія економічного прогресу держави.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНО-ЕКОНОМІЧНА АНАТОМІЯ МАСОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Завдання для опрацювання: Проаналізувати економічні передумови масового машинобудування, дослідити інженерну логіку стандартизації деталей та оцінити вплив механізації на рентабельність аграрного сектору.

2.1. Макрорівень: Економіка масштабу та Інженерна стандартизація

Завод Ельворті став економічним феноменом саме завдяки революційній зміні філософії виробництва — переходу до серійності.

- **Принцип взаємозамінності деталей:** У ремісничій традиції кожна шестірня або вал виготовлялися індивідуально під конкретний віз. Якщо деталь ламалася в полі, місцевий коваль мусив тижнями викувувати унікальну заміну, підганяючи її напилком. Інженери заводу Ельворті запровадили масове лиття чавуну у строгі еталонні форми (кокілі) та машинне штампування. Усі зубчасті колеса однієї моделі сівалки стали абсолютно ідентичними. Це створило колосальний економічний ефект: ремонт машини в полі звівся до простої заміни деталі, замовленої за заводським каталогом, що мінімізувало простої техніки під час критичного періоду жнив чи посівної.
- **Логістика та сервісна мережа:** Підприємство Ельворті не просто продавало залізо — воно продавало інженерне рішення. Завод створив розгалужену мережу представництв, складів запасних частин та ремонтних баз. Це був перший на вітчизняних теренах приклад післяпродажного сервісного обслуговування складних механізмів, що забезпечило заводу абсолютну довіру споживачів та монопольне становище на ринку.

2.2. Мезорівень: Заводська логістика та розподіл праці

Рентабельність машинобудівного гіганта залежала від внутрішньої організації виробничих процесів.

- **Спеціалізація цехів:** Виробництво було розбите на вузькоспеціалізовані ділянки: чавуноливарний, ковальський, токарний, деревообробний та складальний цехи. Такий розподіл дозволив залучати робітників до виконання вузьких, повторюваних операцій. Швидкість виконання окремої операції (наприклад, розточування отвору в маточині або нарізання різьби) зросла в десятки разів порівняно з працею майстра-універсала.
- **Енергетична незалежність:** Завод Ельворті став піонером у впровадженні автономних енергосистем. Використання надпотужних парових машин для приводу центральних трансмісійних валів (від яких через пасові передачі працювали десятки токарних і свердлильних верстатів) зробило виробництво абсолютно незалежним від природних стихій та дозволило перейти на цілодобовий, безперервний цикл випуску продукції, радикально знижуючи собівартість кожної одиниці техніки.

2.3. Мікрорівень: Кінематика агрегатів та агротехнічна ефективність

Економічний успіх фермера прямо залежав від досконалості кінематики придбаної ним машини.

- **Точність висіву (Коробка передач):** До появи сівалок Ельворті насіння розкидали вручну. Це призводило до колосальної перевитрати посівного матеріалу та нерівномірних сходів (де густо, там порожньо). Інженери заводу розробили котушковий висівний апарат, який приводився в рух від опорного колеса через систему зубчастих шестерень (прототип коробки передач). Синхронізація обертання колеса і дозатора гарантувала, що насіння падатиме в ґрунт з математично точною відстанню, незалежно від швидкості руху коней. Зменшення витрат на насіння окупало вартість дорогої сівалки вже за кілька сезонів.
- **Кінематика різальних апаратів (Жатки):** Механізація збору врожаю вирішувала проблему дефіциту та високої вартості найманої ручної праці (косарів) у період жнив. Плоский кривошипно-повзунковий механізм жатки перетворював обертання колеса на високочастотний зворотно-поступальний рух сталевго ножа. Одна машина за добу виконувала роботу десятків людей, дозволяючи власникам великих економій збирати врожай без втрат від осипання зерна, максимізуючи прибуток.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен синтезувати знання з історії техніки, економіки підприємства та основ конструювання, довівши, що будь-яке інженерне рішення завжди має фінансовий еквівалент. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Інженерія як фундамент прибутковості: економічний та кінематичний аналіз діяльності машинобудівних заводів XIX століття (на прикладі Ельворті)». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Економіка стандартизації:** З позиції сучасного машинобудування опишіть принцип взаємозамінності деталей. Поясніть, чому відмова від індивідуальної ручної підгонки деталей на користь використання точних ливарних форм (кокілів) і шаблонів (лекал) стала головною умовою здешевлення продукції та переходу до масового конвеєрного виробництва. Як створення каталогів запасних частин змінило економіку технічного обслуговування?
2. **Агротехнічна кінематика:** Проаналізуйте кінематичну схему передачі руху від ходового колеса до висівного апарата кінної сівалки. Доведіть прямий економічний зв'язок між наявністю зубчастого редуктора (який дозволяв регулювати швидкість обертання катушок-дозаторів) та економією посівного матеріалу фермером. Чому точність механізму є синонімом прибутковості в аграрному бізнесі?
3. **Еволюція ролі інженера (Етико-соціальний вимір):** Спираючись на досвід управління масштабними підприємствами XIX століття, сформулюйте висновок про те, як змінилася роль інженера. Поясніть, чому сучасний фахівець із прикладної механіки має бути не лише технічним експертом (творцем креслень і кінематичних схем), але й грамотним менеджером-економістом, який здатен оптимізувати логістику цеху, розрахувати рентабельність впровадження нового верстата та врахувати вартість життєвого циклу машини від її виготовлення до утилізації?

ТЕМА СРС 3.4: Вивчення норм безпеки транспортних засобів, розрахунків на міцність та втому матеріалів у судно- та залізничному будівництві

- **Напрямок самостійної роботи:** Дослідження еволюції транспортної, точної механіки та впливу індустріалізації.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикаторм).
- **Форма контролю:** Захист результатів аналізу на семінарах, перевірка звітів.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Бурхливий розвиток транспортної інфраструктури XIX – початку XX століття докорінно змінив уявлення людства про швидкість та масу переміщуваних об'єктів. Вітчизняні машинобудівні гіганти (паровозобудівні заводи Харкова й Луганська, суднобудівні верфі Миколаєва та Херсона) почали випускати машини небаченої раніше потужності. Проте інтенсивна експлуатація цих мобільних систем швидко виявила катастрофічну прогалину в тогочасних інженерних знаннях: сталеві осі, які легко витримували десятикратні статичні перевантаження в цеху, раптово і безшумно ламалися на повному ході, а сталеві корпуси кораблів розривалися навпіл під час штурму.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця самостійна робота є критично важливою, адже вона розкриває історичні передумови виникнення науки про надійність машин та формування сучасних жорстких норм експлуатаційної безпеки. Інженерія зіткнулася з підступним явищем втоми матеріалів та просторовими динамічними деформаціями. Здобувачу належить здійснити фаховий аналіз переходу від статичного проєктування до динамічного, дослідити природу виникнення концентраторів напружень та усвідомити, що кожен сучасний стандарт безпеки на транспорті є результатом глибокого аналізу минулих механічних криз і техногенних катастроф.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ ТРАНСПОРТНОЇ БЕЗПЕКИ

Завдання для опрацювання: Проаналізувати специфіку напружено-деформованого стану мобільних систем (суден та локомотивів), дослідити фізичну сутність втоми металів і логіку запровадження перших інституційних норм транспортної безпеки.

2.1. Макрорівень: Будівельна механіка мобільних структур (Пароплави)

На відміну від наземної фабрики, яка стоїть на нерухомому фундаменті, транспортний засіб спирається на нестабільне середовище (хвилі або рейки з вибоїнами), що генерує колосальні просторові деформації.

- **Поздовжній згин корпусу судна:** Інженери-корабелі Миколаївського адміралтейства одними з перших стикнулися з проблемою загальної міцності корпусу. Довге сталеве судно на морській хвилі поводить себе як гігантська порожниста балка. Коли гребінь хвилі знаходиться під центром корабля, ніс і корма провисають у повітрі (відбувається перегин) — верхня палуба розтягується, а днище стискається. Коли судно потрапляє між двома хвилями (прогин), напруження миттєво змінюють знак на протилежний.
- **Інженерна протидія:** Щоб тонкі сталеві листи обшивки не порвалися і не зім'ялися в гармошку під час цих неперервних циклічних деформацій, корабелі були змушені перейти від поперечної системи набору (шпангоутів) до поздовжньої та комбінованої. Впровадження потужних поздовжніх стрингерів (суцільних сталевих балок уздовж усього корпусу) забезпечило судну необхідну просторову жорсткість та врятувало ранній паровий флот від масових катастроф у відкритому морі.

2.2. Мезорівень: Втома матеріалів та кінематика локомотивів

Залізничний транспорт кинув виклик традиційному металознавству через екстремальні високочастотні навантаження на обертові деталі.

- **Знакозмінні навантаження на осі:** Вага паротяга тисне на вісь згори вниз, згинаючи її. Оскільки вісь обертається, кожне мікроскопічне волокно металу за один оберт переходить із зони максимального стиснення у зону максимального розтягування. Цей безперервний цикл змушує кристалічну решітку металу "дихати".
- **Природа втомного руйнування:** Вітчизняні наукові школи дослідили, що головним ворогом металу є концентратори напружень — різкі переходи діаметрів (гострі внутрішні кути), технологічні отвори, подряпини або раковини в литті. Саме в цих місцях силові лінії скупчуються, породжуючи пікові локальні перенапруження. На молекулярному рівні зароджується мікротріщина, яка непомітно проростає всередину металу, доки не відбувається раптовий крихкий злам. Це відкриття змусило інженерів запровадити обов'язкові галтелі (плавні радіусні заокруглення) та ідеальне полірування поверхонь відповідальних валів.
- **Динамічне балансування:** Складний рух важких шатунів паротяга створював колосальні відцентрові сили інерції, які змушували машину "галоувати" (підстрибувати на рейках), генеруючи руйнівні удари. Розв'язанням цієї кризи стало суворе математичне розрахування та встановлення масивних противаг на ведучих колесах для повної компенсації інерційних сил.

2.3. Мікрорівень: Інституціоналізація безпеки (Від аварій до регламентів)

Катастрофи змусили державу та інженерні спільноти перейти від рекомендацій до жорстких правових норм.

- **Паспортизація та дефектоскопія:** Кожна відповідальна деталь (колісна пара, котел, гребний вал) почала отримувати індивідуальний паспорт, де фіксувався її пробіг (кількість робочих циклів). Інженери розробили перші методи дефектоскопії (від простукування молотком до газових проб), щоб виявляти приховані тріщини до того, як вони призведуть до аварії. Було запроваджено поняття планово-попереджувального ремонту та жорсткого вибракування деталей, незалежно від їхнього візуально нормального стану, по досягненні межі втоми.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен систематизувати знання про фізичні причини руйнування транспортних засобів та екстраполювати історичний досвід формування норм безпеки на філософію сучасного інженерного проєктування. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Від залізничних катастроф до стандартів надійності: еволюція норм безпеки та вивчення втоми матеріалів у транспортному машинобудуванні України». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Динаміка і втома металів (Металознавство):** З позиції опору матеріалів поясніть фундаментальну різницю між статичним перевантаженням (коли деталь гнеться) і втомним руйнуванням під дією знакозмінних навантажень (раптовий злам обертової осі без видимої деформації). Чому класичні ковальські методи розрахунку міцності виявилися безсилими на транспорті? Детально опишіть згубну роль концентраторів напружень (гострих кутів) та інженерні методи боротьби з ними (галтелі).
2. **Будівельна механіка мобільних структур:** Проаналізуйте просторову поведінку сталевих корпусів корабля під час сильного хвилювання на морі. Поясніть логіку виникнення колосальних напружень розтягування і стискання в палубі та днищі (перегин і прогин). Як перехід до поздовжньої системи набору каркаса дозволив забезпечити надійність судна у відкритому океані?

3. **Інженерна етика та верховенство права:** Спираючись на історичний досвід боротьби з транспортними катастрофами, сформулюйте морально-правовий висновок щодо ролі інженера-проектувальника. Поясніть, чому сьогодні дотримання жорстких регламентів безпеки, коефіцієнтів запасу міцності та норм регулярного неруйнівного контролю (дефектоскопії) є беззаперечним обов'язком, що стоїть вище за будь-яку економічну економію чи терміни здачі об'єкта.

ЗАТВЕРДЖЕНО Директор ЗПО «ДПТК» —
Олександр СТІЛЕЦЬ
**МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА ДО САМОСТІЙНОЇ
РОБОТИ СЛУХАЧІВ №4 Дисципліна:** Історія та
культура України Цільова аудиторія: Слухачі (галузь
знань: 13 Механічна інженерія; спеціальність: 131
Прикладна механіка; освітньо-професійний ступінь:
«фаховий молодший бакалавр»)

МОДУЛЬ 4. Сучасна прикладна механіка, робототехніка та інженерна етика (Друга половина XX ст. – Сьогодення)

ТЕМА СРС 4.1: Аналітика розвитку аерокосмічної галузі: підготовка презентацій про національні досягнення (КБ «Антонов» та «Південмаш»)

- **Напрямок самостійної роботи:** Аналітика розвитку аерокосмічної галузі, робототехніки, відбудови інфраструктури та інженерної етики.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Перевірка підготовлених матеріалів та презентацій на дотримання академічної доброчесності, захист на семінарських заняттях.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Аерокосмічна галузь є абсолютною вершиною еволюції прикладної механіки. Якщо в традиційному наземному машинобудуванні дефіцит міцності конструкції часто компенсується банальним додаванням маси металу, то в авіації та ракетобудуванні такий підхід є фатальним. Кожен зайвий кілограм ваги ракети експоненціально зменшує масу корисного навантаження, яке можна вивести на орбіту, а в авіації — призводить до колосальних економічних збитків через перевитрату палива. Українські конструкторські бюро «Антонов» (Київ) та «Південне» (Дніпро) разом із заводом «Південмаш» здійснили світову інженерну революцію, створивши машини-гіганти, які працюють на межі фізичних можливостей матеріалів.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця самостійна робота є етапом усвідомлення найвищих стандартів професійної культури конструювання. Здобувач має підготувати презентаційно-аналітичний матеріал, який розкриває суто інженерну природу національних досягнень: від подолання втрати стійкості тонкостінних оболонок паливних баків до розв'язання проблем втоми металу у фюзеляжах під дією циклічного перепаду тиску. Дослідження цих об'єктів формує розуміння того, що наявність повного циклу аерокосмічного виробництва є найвищим маркером інтелектуального та технологічного суверенітету держави.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЯГНЕНЬ

Завдання для опрацювання: Здійснити збір та фаховий аналіз інформації щодо конструктивних інновацій у ракетобудуванні та створенні надважкої транспортної авіації, звернувши увагу на механіку матеріалів та кінематику механізмів.

2.1. Макрорівень: Ракетобудування та стійкість оболонок (КБ «Південне»)

Створення міжконтинентальних балістичних ракет та космічних носіїв (сімейства «Зеніт», «Дніпро», «Циклон») вимагало вирішення парадоксальної задачі міцності.

- **Ізогридні (вафельні) структури:** Паливні баки ракети — це гігантські циліндри з неймовірно тонкими стінками (кілька міліметрів алюмінієво-літєвого сплаву). Під час старту колосальна вага верхніх ступенів тисне на ці стінки, намагаючись їх зім'яти (явище втрати пружної стійкості). Щоб уникнути цього без обтяження конструкції, інженери застосували метод високоточного хімічного фрезерування. На внутрішній поверхні бака витравлюється суцільна сітка перехресних ребер жорсткості (трикутників або ромбів). Ця інтегральна ізогридна структура працює як просторовий каркас, гарантуючи абсолютну жорсткість при мінімальній масі.

- **Герметичність та зварювання:** Ракета містить сотні тонн кріогенного палива та окислювача (рідкий кисень). Традиційні заклепувальні або болтові з'єднання тут неприпустимі через мікротріщини та ризик розхитування від шалених вібрацій двигуна. Фахівці «Південмашу» запровадили передові технології автоматичного аргондугового та електронно-променевого зварювання, створюючи монолітні шви без внутрішніх концентраторів напружень, які зберігають пластичність навіть за температур, близьких до абсолютного нуля.

2.2. Мезорівень: Кінематика і статика надважкої авіації (КБ «Антонов»)

Створення літаків-гігантів Ан-124 «Руслан» та Ан-225 «Мрія» вимагало переосмислення механіки взаємодії гігантської маси із землею та повітряним середовищем.

- **Розподіл мас та кінематика шасі:** Літак із максимальною злітною масою у 600 тонн (Ан-225) не міг спиратися на стандартне шасі, оскільки він просто розчавив би бетон злітно-посадкової смуги. Інженери застосували багатоопорну кінематичну систему: основне шасі складалося з десятків колісних візків, кожен з яких мав незалежну гідропневматичну амортизацію. Це дозволило рівномірно розподілити колосальний питомий тиск. Крім того, передня стійка отримала унікальний механізм "присідання": система важелів дозволяла опустити носову частину літака до землі, перетворюючи відкидну рампу на ідеально пологий пандус для заїзду надважкої самохідної техніки.
- **Концепція безпечного руйнування (Fail-Safe):** Фюзеляж транспортного літака зазнає постійного циклічного навантаження — роздування внутрішнім тиском на висоті та стискання при зниженні. Це неминуче провокує втому металу (дюралюмінію) та появу мікротріщин. Інженери КБ «Антонов» застосували філософію керованого руйнування: обшивка посилювалася системою приклеєних та приварених стрингерів і шпангоутів (стоперів). Якщо тріщина і виникала, вона не поширювалася на весь фюзеляж, а гарантовано гасилася на найближчому силовому елементі, зберігаючи літак неушкодженим до планового ремонту.

2.3. Мікрорівень: Матеріалознавство та перехід до анізотропії

Сучасна аерокосмічна галузь відмовляється від металів з однаковою міцністю в усіх напрямках (ізотропних) на користь "розумних" матеріалів.

- **Полімерні композити:** Застосування вуглепластиків у хвостовому оперенні чи обтічниках дозволило інженерам конструювати саму структуру матеріалу. Вуглецеві волокна укладаються в матриці виключно вздовж векторів реальних експлуатаційних навантажень (наприклад, на згин крила). У тих напрямках, де напружень немає, матеріал відсутній. Це анізотропне програмування міцності дозволяє досягти параметрів легкості, які є фізично недосяжними для найкращих титанових чи алюмінієвих сплавів.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен не лише зібрати фактаж для презентації, але й здійснити фахову інженерну інтерпретацію національних досягнень, продемонструвавши глибоке розуміння фізичних процесів. Звітність виконується у формі мультимедійної презентації (слайдів) та супровідного аналітичного есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Розробіть мультимедійну презентацію та напишіть супровідне аналітичне есе на тему: «Національний тріумф прикладної механіки: інженерний аналіз конструктивних рішень аерокосмічної галузі України (на прикладі літаків серії «Ан» або ракет-носіїв)». (Обсяг тексту: 1-1,5 сторінки формату А4; кількість слайдів: 7-10).

Вимоги до розробки матеріалів (Алгоритм виконання):

1. **Статика екстремальних оболонок і мас:** На конкретному прикладі (корпус ракети або фюзеляж Ан-124) поясніть інженерне подолання втрати стійкості. Як геометрична оптимізація (створення ізогридної сітки або стрингерного набору) дозволяє тонким листам металу витримувати колосальні осьові стискання без зминання? Візуалізуйте це на слайдах без використання математичних формул, спираючись на розподіл силових ліній.
2. **Кінематика і втома матеріалів:** Проаналізуйте унікальні рухомі вузли (наприклад, механізм присідання передньої стійки шасі «Мрії» або роботу амортизаторів). Поясніть концепцію боротьби зі втомою металів: чому відмова від традиційних заклепок на користь високоточного зварювання, клейових з'єднань або композитів радикально збільшує експлуатаційний ресурс аерокосмічної техніки?
3. **Етико-соціальний вимір та суверенітет:** Сформулюйте аргументований висновок щодо ролі вітчизняного інженера-механіка у глобальному високотехнологічному середовищі. Поясніть, чому здатність самостійно проєктувати та серійно виготовляти об'єкти такого рівня складності (де діють найсуворіші стандарти надійності та нульової толерантності до браку) є гарантією збереження статусу України як передової промислової та космічної держави. Як ці досягнення

повинні надихати сучасне покоління на повоєнну відбудову та розвиток новітньої робототехніки?

ТЕМА СРС 4.2: Дослідження концепції Індустрії 4.0, застосування робототехніки, верстатів з ЧПК та автоматизації зварювальних і механічних процесів в Україні

- **Напрямок самостійної роботи:** Аналітика розвитку аерокосмічної галузі, робототехніки, відбудови інфраструктури та інженерної етики.
- **Загальний обсяг часу на напрямок:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Перевірка есе та підготовлених матеріалів на дотримання академічної доброчесності, захист на семінарських заняттях.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

У другій половині XX та на початку XXI століття прикладна механіка перетнула межу, яка назавжди змінила сутність промислового виробництва. Відбувся еволюційний перехід від механізації (де машина замінювала мускульну силу людини) до повної автоматизації та кіберфізичної інтеграції (де алгоритми замінюють рутинну інтелектуальну працю оператора). Концепція «Індустрії 4.0» (Четвертої промислової революції) розглядає сучасний завод не як набір окремих верстатів, а як єдиний живий організм, де кожна фреза, кожен зварювальний робот і кожен конвеєр об'єднані в загальну цифрову нейромережу.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця самостійна робота є містком між історичною спадщиною та новітньою технологічною реальністю. Сучасний інженер-механік більше не стоїть у замаскованому мастилом спецодязі за токарним верстатом, вручну обертаючи маховики подачі супорта. Сьогодні його головним інструментом є знання систем числового програмного керування (ЧПК), розуміння кінематики багатоосьових промислових маніпуляторів та здатність програмувати складні логічні контролери. Здобувачу належить здійснити фаховий аналіз того, як цифровізація механічних та зварювальних процесів забезпечує мікронну точність, ліквідує людський фактор у небезпечних умовах і підвищує економічну конкурентоспроможність вітчизняного машинобудування на глобальному ринку.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ ІНДУСТРІЇ 4.0

Завдання для опрацювання: Проаналізувати перехід від аналогових машин до кіберфізичних систем, дослідити просторову кінематику промислових роботів та фізику автоматизованого зварювального процесу.

2.1. Макрорівень: Філософія Індустрії 4.0 та Кіберфізичні системи

Головна відмінність Індустрії 4.0 полягає в наданні механізмам здатності до «самоусвідомлення» та автономного прийняття рішень.

- **Від станка до сенсорної мережі:** Традиційний верстат просто виконував заданий рух, доки не ламався різець або не закінчувалася зміна. Кіберфізична система (CPS) інтегрує фізичний механізм із цифровим інтелектом (Інтернетом речей — IoT). Верстат оснащується тисячами надчутливих датчиків (вібрації, температури, акустичної емісії). Він у реальному часі аналізує стан металу, що обробляється, та власного шпинделя.
- **Превентивна (прогностична) аналітика:** Комп'ютер не чекає аварії. Аналізуючи мікроскопічні зміни в частоті вібрацій підшипника, система здатна передбачити його фізичне руйнування за кілька тижнів до того, як воно станеться. Вона самостійно зменшує швидкість обертання, щоб зняти пікові напруження, і відправляє інженеру звіт про необхідність планової заміни деталі. Це ліквідує раптові простої підприємства.

2.2. Мезорівень: Промислова робототехніка та Верстати з ЧПК

Обробка складних просторових деталей (наприклад, лопаток турбін чи аерокосмічних кронштейнів) більше не залежить від "твердості руки" та окоміру майстра-токаря чи фрезерувальника.

- **Кінематика багатоосьових центрів (ЧПК):** Перехід до систем числового програмного керування означає, що креслення (математична 3D-модель) безпосередньо керує механікою. Верстати з ЧПК мають 5 і більше осей свободи. Вони здатні синхронно обертати заготовку і переміщувати фрезу під будь-якими просторовими кутами, виточуючи монолітні деталі біонічної форми без жодного перевстановлення заготовки. Це виключає накопичення похибок базування і гарантує мікронну точність.
- **Роботи-маніпулятори:** Сучасний промисловий робот (наприклад, 6-осьова антропоморфна рука) є вершиною кінематики. Його "суглоби" (шарніри) приводяться в рух прецизійними серводвигунами через хвильові редуктори, що забезпечують абсолютну відсутність люфтів. Робот може тисячі разів поспіль повторити складну просторову траєкторію з відхиленням не

більше кількох сотих часток міліметра. Він не втомлюється, не втрачає концентрації та працює з однаковою ідеальною якістю як на початку, так і в кінці зміни.

2.3. Мікрорівень: Автоматизація зварювального виробництва Зварювання завжди вважалося мистецтвом, залежним від інтуїції та фізичної витривалості зварювальника. Індустрія 4.0 перетворила його на строгу, керовану фізичну науку.

- **Адаптивне управління дугою:** Роботизовані зварювальні комплекси оснащуються системами лазерного стеження за швом (Laser Seam Tracking) та оптичними камерами. У процесі зварювання метал від колосального нагріву починає деформуватися (жолобитися), і стик деталей зміщується. Робот у реальному часі «бачить» цю термічну деформацію і миттєво коригує траєкторію руху пальника, швидкість подачі дроту та силу струму.
- **Безпека та гуманізація праці:** Зварювання в середовищі захисних газів, під флюсом або електронно-променевого зварювання супроводжується виділенням токсичних аерозолів, ультрафіолетовим випромінюванням та ризиком опіків. Передача цих процесів роботизованим комплексам дозволяє вивести людину з небезпечної зони. Фахівець більше не тримає пальник, він тримає пульт керування (навчальний пульт робота), програмуючи логіку процесу із безпечної, кліматизованої кімнати оператора.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен синтезувати знання з теорії механізмів, матеріалознавства та сучасної інформатики, довівши, що Індустрія 4.0 є не просто комп'ютеризацією, а новою філософією прикладної механіки. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Від ручного інструмента до кіберфізичної системи: вплив робототехніки та верстатів з ЧПК на трансформацію машинобудівного і зварювального виробництва в Україні». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Кінематика та точність (Верстати з ЧПК):** З інженерної точки зору поясніть, чому класичні механічні верстати з ручним керуванням не здатні забезпечити серійне виготовлення складних аерокосмічних чи турбінних деталей. Як запровадження 5-осьових верстатів з ЧПК ліквідує «людський фактор» (втому, помилки окоміру) та забезпечує мікронну повторюваність деталей у серійному виробництві?
2. **Фізика автоматизованого зварювання:** Опишіть принцип зворотного зв'язку в роботизованому зварювальному комплексі. Чому здатність системи адаптивно реагувати на температурні деформації металу в реальному часі (змінюючи параметри дуги) гарантує відсутність прихованих дефектів (непроварів чи підрізів)? Згадайте історичну спадщину: як ідеї автоматизації зварювання під флюсом, закладені школою Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона, еволюціонували у сучасну зварювальну робототехніку?
3. **Нова етика та компетентності інженера:** Сформулюйте висновок щодо зміни парадигми професії інженера-механіка. Чому масова автоматизація не означає "знищення робочих місць", а вимагає радикального підвищення інтелектуального рівня фахівця? Опишіть нові етичні обов'язки інженера-програміста: чому помилка в коді G-коду верстата чи в логіці роботи-маніпулятора несе таку ж руйнівну фізичну загрозу для виробництва, як і неправильно розрахована сталева балка в минулому?

ТЕМА СРС 4.3: Опрацювання методів дефектоскопії та оцінки міцності пошкоджених конструкцій для повоєнної відбудови інфраструктури

- **Напрямок самостійної роботи:** Аналітика розвитку аерокосмічної галузі, робототехніки, відбудови інфраструктури та інженерної етики.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 2 години.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Перевірка есе та підготовлених матеріалів на дотримання академічної доброчесності, захист на семінарських заняттях.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

У класичній прикладній механіці інженер зазвичай має справу з проєктуванням нових машин і механізмів, де властивості металу заздалегідь відомі з довідників, а навантаження прогнозовані. Проте в умовах ліквідації наслідків техногенних аварій або повоєнної відбудови фахівець стикається з абсолютно іншою реальністю. Перед ним постає об'єкт (металевий міст, каркас цеху, турбіна або

бронемашина), який зазнав екстремальних, непередбачених жодними стандартами впливів: колосальних динамічних ударів вибухової хвилі або критичного перегріву від пожежі.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця самостійна робота є зануренням у сферу технічної експертизи та так званої «інженерної медицини». Візуального огляду обгорілої чи покрученої сталевий балки категорично недостатньо для прийняття рішення про її придатність. Здобувачу належить здійснити фаховий аналіз методів неруйнівного контролю (NDT — Non-Destructive Testing) або дефектоскопії. Розуміння того, як за допомогою ультразвуку чи магнітного поля можна «побачити» приховані мікротріщини в структурі металу, формує у сучасного інженера найвищий рівень професійної етики та відповідальності, адже саме його експертний висновок стає гарантією безпеки людей, які повернуться до експлуатації відновленої техніки чи інфраструктури.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНА АНАТОМІЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ТА ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Завдання для опрацювання: Проаналізувати фізику деградації матеріалів під впливом екстремальних навантажень, дослідити принципи дії основних методів неруйнівного контролю (УЗД, магнітопорошковий метод) та специфіку ремонтно-зварювальних робіт на пошкоджених об'єктах.

2.1. Макрорівень: Фізика екстремальних навантажень та «історія» металу

Кожна пошкоджена конструкція має свою невидиму історію, яку інженер зобов'язаний розшифрувати до початку будь-яких відновлювальних робіт.

- **Динамічний шок (Вибухова хвиля):** Імпульсне докладання гігантської сили діє на метал інакше, ніж плавне статичне навантаження. Відбувається так званий «шоковий наклеп»: кристалічна решітка сталі різко спотворюється. Метал може візуально не змінити свою геометрію, але він локально втрачає в'язкість і пластичність, стаючи твердим і надзвичайно крихким (схожим за властивостями на скло). Будь-яка спроба приварити до такої «хворої» зони нову деталь або вирівняти її домкратом призведе до миттєвого утворення магістральної тріщини.
- **Термічна деградація (Пожежа):** Тривалий вплив надвисоких температур (понад 600-800°C) випалює вуглець із поверхневих шарів та повністю змінює молекулярну структуру сталі. Метал втрачає свою границю текучості і починає пластично «пливти» під власною вагою (балки прогинаються на десятки сантиметрів). Раптове охолодження розпеченого каркаса водою (під час гасіння) спричиняє хаотичне загартування, що генерує всередині балок колосальні залишкові термічні напруження, готові розірвати деталь при найменшому зовнішньому впливі.

2.2. Мезорівень: Інструментальна дефектоскопія (Бачення крізь метал)

Оскільки візуальний огляд виявляє лише 10% реальних загроз, інженер-механік застосовує апаратні методи неруйнівного контролю.

- **Ультразвукова дефектоскопія (УЗД):** Головний інструмент пошуку внутрішніх (глибинних) дефектів — розшарувань, порожнин та несправів у зварних швах. Прилад генерує звукову хвилю високої частоти, яка проникає в товщу сталі. За законами акустики, якщо метал суцільний, хвиля проходить крізь нього і відбивається від протилежної стінки. Але якщо на її шляху трапляється мікротріщина (межа середовищ "метал-повітря"), хвиля відбивається від неї раніше. Аналізуючи час повернення луни на екрані осцилографа, інженер з міліметровою точністю визначає глибину і розмір невидимої смертельної загрози.
- **Магнітопорошковий метод:** Ідеальний спосіб виявлення поверхневих мікротріщин (втом металу), які неможливо побачити в мікроскоп через їх стиснення. Пошкоджений вузол намагнічують за допомогою електромагніту і посипають спеціальним феромагнітним порошком. У місці наявності мікротріщини магнітні силові лінії різко викривляються (виходять на поверхню), притягуючи до себе частинки порошку. Невидима тріщина миттєво "проявляється" у вигляді яскравої чіткої лінії, сигналізуючи про необхідність вибракування деталі.
- **Портативна склерометрія (Твердометрія):** Для оцінки наслідків пожежі інженери використовують прилади, що вимірюють твердість металу безпосередньо на об'єкті (методом пружного відскоку бойка). Аномально високі показники твердості свідчать про те, що сталь перетворилася на крихкий мартенсит і не придатна до подальшої експлуатації.

2.3. Мікрорівень: Металознавство та зварювальна реставрація

Зварювання пошкоджених війною чи аварією конструкцій є значно складнішим процесом, ніж створення нових.

- **Санація (оздоровлення) зони різку:** Згідно з правилами, закладеними ще школою Є.О. Патона під час повоєнної відбудови мостів, заборонено зварювати рвані краї металу після вибуху. Інженер зобов'язаний призначити вирізання пошкодженої ділянки з великим відступом (до

кількох десятків сантиметрів), щоб гарантовано видалити зону шокового наклепу та мікротріщин.

- **Термомеханічний контроль під час ремонту:** Накладання латок на бронетехніку або масивні сталеві каркаси в польових чи неопалюваних умовах вимагає суворого температурного контролю. Зварювання холодної, високолегованої або товстої сталі призведе до різкого охолодження шва і появи "холодних тріщин". Інженер-механік зобов'язаний розробити технологічну карту, що включає обов'язковий попередній підігрів зони зварювання газовими пальниками та використання пластичних електродів, здатних поглинати напруження при усадці металу.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен перевести знання з фізики та матеріалознавства у площину практичної інженерної експертизи, довівши, що процедура дефектоскопії є безальтернативною основою національної безпеки у процесі відновлення країни. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Інженерна медицина металу: методи дефектоскопії та етичні імперативи при оцінці пошкоджених конструкцій у процесі повоєнної відбудови». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Фізика інструментального контролю (NDT):** З інженерної точки зору поясніть, чому підписання акту про придатність пошкодженого сталевих каркаса (або мосту) виключно на основі візуального огляду є професійним злочином. Опишіть логіку роботи ультразвукової та магнітопорошкової дефектоскопії. Які саме типи дефектів (внутрішні розшарування чи поверхневу втому) дозволяють виявити ці методи без руйнування самої деталі?
2. **Матеріалознавство деградації та ремонту:** Проаналізуйте наслідки впливу вибухової хвилі та екстремального вогню на сталь. Поясніть фізичну суть явища «шокового наклепу». Чому при польовому ремонті бронетехніки або мостових ферм інженер зобов'язаний видалити значну частину металу навколо пробойни перед початком зварювальних робіт, і чому зварювання «встик по рваному краю» неминуче призведе до повторної аварії?
3. **Інженерна етика та концепція «Build Back Better»:** Спираючись на контекст повоєнної відбудови України, сформулюйте морально-правовий обов'язок фахівця з прикладної механіки. Опишіть етичну дилему інженера-експерта: як протистояти тиску замовника, який вимагає "швидко і дешево підлатати" прогнуту після пожежі балку замість її повного демонтажу? Чому принциповість у вибракуванні деградованого металу є прямою реалізацією соціальної відповідальності інженера за збереження життів громадян?

ТЕМА СРС 4.4: Аналіз техногенних катастроф через призму порушень норм проєктування та експлуатації. Формування кодексу честі інженера

- **Напрямок самостійної роботи:** Аналітика розвитку аерокосмічної галузі, робототехніки, відбудови інфраструктури та інженерної етики.
- **Загальний обсяг часу на напрям:** 1 година.
- **Максимальна кількість балів за завдання:** Оцінюється в межах загального рейтингу за самостійну роботу (згідно з Рубрикатором).
- **Форма контролю:** Перевірка есе та підготовлених матеріалів на дотримання академічної доброчесності, захист на семінарських заняттях.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ВСТУП ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ВКАЗІВКИ

Історія прикладної механіки та машинобудування — це не лише тріумфальний літопис видатних винаходів, але й трагічна хроніка техногенних катастроф. Будь-яка складна інженерна система (міст, трубопровід, турбіна електростанції чи транспортний засіб) несе в собі колосальну приховану енергію. Коли ця енергія виходить з-під контролю через руйнування металу, наслідки вимірюються не лише економічними збитками, а й людськими життями. Сучасний аналіз найбільших світових та вітчизняних аварій беззаперечно доводить: першопричиною колапсу майже ніколи не буває раптова зміна законів фізики. Фундаментом катастрофи завжди є людський фактор — свідоме або недбале ігнорування стандартів, порушення технології зварювання, експлуатація механізмів поза межами їхнього розрахункового ресурсу або банальна корупційна економія на матеріалах.

Для майбутнього фахівця зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ця самостійна робота є кульмінаційним етапом світоглядної підготовки. Інженерія — це професія з найвищим рівнем соціальної відповідальності, яка вимагає абсолютної чесності. Здобувачу належить здійснити глибокий аналіз механіки руйнувань через призму етичних рішень. Мета завдання — дослідити анатомію

інженерної недбалості та сформулювати власний «Кодекс честі інженера-механіка», усвідомивши, що принциповість фахівця, який відмовляється підписувати акт введення в експлуатацію дефектного обладнання, є головним щитом суспільства від техногенних трагедій.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ІНЖЕНЕРНО-ЕТИЧНА АНАТОМІЯ КАТАСТРОФ

Завдання для опрацювання: Проаналізувати феномен «нормалізації відхилень» у проектуванні, дослідити фізико-механічні наслідки порушення умов експлуатації та визначити межі моральної і кримінальної відповідальності технічного спеціаліста.

2.1. Макрорівень: Системні помилки та «Нормалізація відхилень»

Жодна масштабна катастрофа не стається миттєво; їй завжди передують тривалий період накопичення невидимих дефектів та компромісів із совістю.

- **Конфлікт економіки та статистики:** При проектуванні масивних споруд чи великогабаритних машин інженери закладають розрахункові коефіцієнти запасу міцності. Однак під тиском інвесторів або керівництва (з метою здешевлення та прискорення виробництва) ці коефіцієнти часто штучно знижуються. Відмова від дублювальних (резервних) систем безпеки, заміна високолегованої сталі на дешевші аналоги або зменшення товщини стінок призводять до того, що конструкція починає працювати на межі своєї несучої здатності.
- **Синдром «нормалізації відхилень»:** Це найнебезпечніше психологічне явище в інженерному середовищі. Якщо під час експлуатації механізму систематично фіксуються дрібні аномалії (наприклад, підвищена вібрація ротора турбіни, поява мікроскопічних тріщин у зварних швах, підтікання мастила), і це не призводить до негайної аварії, персонал поступово звикає до цих порушень. Аномалія починає сприйматися як "норма". З точки зору опору матеріалів, у цей час відбувається незворотне накопичення втомних пошкоджень у кристалічній решітці металу, яке неминуче завершиться раптовим і катастрофічним магістральним розривом.

2.2. Мезорівень: Експлуатаційна криза (Втома, корозія та перевантаження)

Навіть ідеально спроектована машина стає смертельно небезпечною, якщо порушуються регламенти її технічного обслуговування (ТО) та планово-попереджувальних ремонтів (ППР).

- **Ігнорування дефектоскопії:** Будь-який динамічно навантажений вузол (вал компресора, вісь вагона, лопатка турбіни) має свій життєвий цикл. По завершенню розрахункової кількості циклів навантажень деталь зобов'язана замінити, навіть якщо вона виглядає абсолютно цілою. Бажання зекономити призводить до продовження експлуатації "наосліп" без проведення інструментального ультразвукового чи магнітопорошкового контролю. Як наслідок, прихована внутрішня тріщина відриває деталь на повному робочому ході, кінетична енергія якої руйнує весь агрегат.
- **Зварювальні дефекти як бомба уповільненої дії:** У зварювальному виробництві непровар кореня шва, шлакові включення або використання сирих (непрожарених) електродів формують гострі концентратори напружень. В умовах знакозмінних навантажень або гідравлічних ударів (наприклад, у магістральних трубопроводах) ці мікродефекти ініціюють крихке руйнування сталі, що призводить до розливу хімікатів, вибухів газу або обвалу опорних металоконструкцій. Відповідальність за це лежить виключно на зварювальнику, який допустив брак, та інспекторі ВТК (відділу технічного контролю), який заплющив на нього очі.

2.3. Мікрорівень: Інженерна етика та Право на "Вето"

Здатність протистояти системному тиску та зупинити небезпечний процес є показником фахової зрілості інженера.

- **Інженер як гарант безпеки:** Відповідно до європейських та вітчизняних норм, підпис інженера-механіка на акті приймання обладнання чи акті прихованих робіт має юридичну силу. Інженер є єдиним фахівцем, здатним математично і фізично усвідомити масштаб загрози. Його моральний обов'язок — діяти як незалежний арбітр між сліпою стихією ринкової економіки (яка вимагає прибутку) та безкомпромісними законами фізики.
- **Професійний кодекс:** Справжній інженер ніколи не піддається на аргументи "ми завжди так робили" або "воно витримає ще один сезон". Якщо виявлено критичний дефект, інженер зобов'язаний застосувати своє право вето — зупинити виробничу лінію, заборонити експлуатацію механізму або відкликати партію бракованих деталей, усвідомлюючи, що можливі звільнення чи конфлікти з керівництвом є нікчемними порівняно з ціною навіть одного врятованого людського життя.

3. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК: АНАЛІТИЧНА РОБОТА ТА ПРОЄКЦІЯ НА СЬОГОДЕННЯ

Для успішного виконання самостійної роботи здобувач повинен синтезувати знання з будівельної механіки, матеріалознавства та соціології професій, створивши глибокий аналітичний документ, що відображає його особисту готовність до відповідальної інженерної діяльності. Звітність виконується письмово у робочому зошиті або у формі розгорнутого аналітичного документа-есе.

Практична проєкція (Основне завдання СРС): Підготуйте аналітичний звіт/есе на тему: «Анатомія інженерної помилки: фізика техногенних катастроф та персональний Кодекс честі сучасного фахівця з прикладної механіки». (Обсяг: 1-1,5 сторінки формату А4).

Вимоги до написання аналітичного звіту (Алгоритм виконання):

1. **Фізико-механічний аналіз катастрофи:** Оберіть відому техногенну аварію (наприклад, руйнування металевого мосту через втому матеріалу, вибух трубопроводу через дефект зварного шва, аварію на промисловому підприємстві через зношеність обладнання). Без використання формул, спираючись на термінологію прикладної механіки, опишіть логіку розвитку руйнування. Поясніть, яка саме невидима сила (концентратор напружень, резонанс, корозія) розірвала конструкцію і чому вона не була вчасно виявлена.
2. **Дослідження "Людського фактора":** Проаналізуйте ланцюг прийняття рішень, що призвів до аварії. Поясніть, як явище «нормалізації відхилень» або економічний тиск змусили технічний персонал проігнорувати сигнали небезпеки. Чому візуального огляду металоконструкцій завжди недостатньо, і чому ігнорування методів інструментальної дефектоскопії (УЗД) прирівнюється до професійного злочину?
3. **Формування "Кодексу честі інженера":** На основі проведеного аналізу, сформулюйте 3-5 категоричних етичних правил (постулатів) для майбутнього фахівця зі зварювального виробництва та прикладної механіки. Опишіть алгоритм ваших дій у ситуації гострого морального вибору (наприклад, якщо керівник підрядної організації намагається змусити вас як спеціаліста з дефектоскопії підписати фіктивний акт про ідеальну якість зварних стиків на критичному інфраструктурному об'єкті задля швидкої здачі проєкту). Чому безкомпромісність у таких ситуаціях є вищим проявом патріотизму та професіоналізму?