

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

Григорій Андрійович СТРИЛЕЦЬ

« 28 » Серпня 2026

ПОГОДЖЕНО

Заступник директора НДН ЗПО «ДПТК»

Григорій Андрійович СТРИЛЕЦЬ

Директор

Григорій Андрійович СТРИЛЕЦЬ

ПЕРЕЛІК ТЕОРЕТИЧНИХ ПИТАНЬ ДО ПІДСУМКОВОГО ЕКЗАМЕНУ

НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ІСТОРІЯ ТА КУЛЬТУРА УКРАЇНИ»

Спеціальність: G9 Прикладна механіка

МЕТОДИЧНА ВКАЗІВКА ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ Цей перелік охоплює Блок №1 (Теоретичні питання) екзаменаційного білета. Відповідаючи на ці лаконічні питання, ви повинні здійснити глибокий інженерно-історичний аналіз без використання математичних формул. Обов'язковою умовою найвищої оцінки є здатність чітко пояснити, яким чином відкриття законів прикладної механіки та створення нових технологій впливали на економіку, логістику, військову справу та безпеку українського суспільства в різні історичні епохи.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ВІД ПРОСТИХ МЕХАНІЗМІВ ДО СКЛАДНОЇ КІНЕМАТИКИ (Античність – XV ст.)

1. **Антична статика:** Як інженери полісів Північного Причорномор'я (Ольвія, Пантікапей) емпірично використовували системи поліспаств та ступальні колеса для подолання маси монументальних кам'яних блоків без сучасних джерел енергії?
2. **Біомеханіка тяглової сили:** У чому полягала історична та технологічна революційність переходу від жорсткого шийного ярма до плечового хомута при використанні транспортної сили коней ранніми слов'янами?
3. **Еволюція трибології:** Які географічні та інженерні чинники зумовили історичний перехід від саней-волокуш (тертя ковзання) до колісних возів зі спицями (тертя кочення) у доіндустріальній логістиці?
4. **Просторова кінематика в агрономії:** Як зміна геометричної форми від примітивного клинового рала до відвального плуга вплинула на розвиток інтенсивного землеробства та зародження економіки міст Київської Русі?
5. **Акумуляція кінетичної енергії:** Яким чином запровадження ножного гончарного кола з масивним нижнім диском-маховиком дозволило ремісникам використати явище інерції та стандартизувати масове виробництво кераміки?
6. **Механіка військової справи:** Звідки брали потенційну енергію для пострілу ранні металеві машини та чому під час тривалих облог міст-фортець відбувся історичний перехід від торсіонних баліст до гравітаційних требюше?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. МЕХАНІКА РАННЬОМОДЕРНОЇ ДОБИ (XVI – XVIII ст.)

1. **Трансмисії доіндустріальної епохи:** Яку кінематичну функцію виконувала традиційна цівкова передача у водяних млинах та чому майстри емпірично обирали для неї деревину граба або яблуні, категорично уникаючи дуба?
2. **Мануфактурна металообробка:** Як впровадження водяного колеса та кулачкового вала дозволило автоматизувати роботу важких хвостових молотів та ковальських міхів у козацьких гамарнях і руднях?
3. **Кінематика зброярства:** З яких міркувань внутрішньої балістики та надійності металу козацькі інженери-людвисари відмовилися від лиття гарматних стволів на глиняний сердечник на користь механічного свердління суцільної відливки?

4. **Опір матеріалів у логістиці:** Як використання гнучких дерев'яних замків та шкіряних гужвів (замість жорстких залізних цвяхів і болтів) у конструкції чумацької мажі допомагало гасити руйнівні вібрації на степовому бездоріжжі?
5. **Термодинаміка транспортного будівництва:** Яке фізичне явище (пов'язане з кристалічною решіткою металу) лежало в основі історичної технології «гарячого шинкування» (насаджування розпеченого залізного обруча) для міцної фіксації дерев'яних коліс?
6. **Точна мікромеханіка:** Як винайдення анкерного спуску та маятникового регулятора дозволило створити точні ратушні годинники у містах із Магдебурзьким правом, подолавши проблему нерівномірного тертя трансмісій?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. ПРОМИСЛОВА РЕВОЛЮЦІЯ ТА ДИНАМІКА МАШИН (XIX – сер. XX ст.)

1. **Еволюція автономного приводу:** Яким чином кривошипно-шатунний механізм (КШМ) та масивний чавунний маховик дозволили паровій машині подолати «мертві точки» і стати універсальним двигуном для важкої індустрії Донбасу?
2. **Аграрне машинобудування:** У чому полягав принцип взаємозамінності деталей, масово впроваджений на вітчизняних заводах (наприклад, заводі Ельворті), і як це історично змінило стандартизацію та польовий ремонт техніки?
3. **Зародження теорії міцності:** Чому українські політехнічні школи змусили машинобудівників відмовитися від суцільних круглих чи квадратних колон на користь двотаврових (Н-подібних) балок при будівництві масивних естакад?
4. **Фізика транспортних катастроф:** Яким чином циклічне знакозмінне навантаження на масивні сталеві осі залізничних локомотивів призводило до невидимого явища втоми металу та їх раптового крихкого зламу під час руху?
5. **Небезпечна геометрія деталей:** Чому гострі внутрішні кути на переходах діаметрів валів (концентратори напружень) ставали головною причиною промислових аварій, і як інженери вирішували цю проблему за допомогою галтелей?
6. **Революція методів з'єднання:** Які історичні, структурні та експлуатаційні переваги мало впровадження суцільнозварних металоконструкцій (на прикладі моста ім. Є.О. Патона у Києві) порівняно із застарілим заклепковим з'єднанням?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4. СУЧАСНА МЕХАНІКА, РОБОТОТЕХНІКА ТА ІНЖЕНЕРНА ЕТИКА (Друга пол. XX ст. – Сьогодення)

1. **Аерокосмічна кінематика та масове проєктування:** Які інноваційні структурні методи (створення ізогридних оболонок паливних баків, спрямована укладка композитів) застосовували українські КБ для радикального зниження маси ракет без втрати жорсткості?
2. **Боротьба з утомним руйнуванням:** У чому полягає інженерно-філософська концепція «безпечного руйнування» (Fail-Safe Design), впроваджена в авіабудуванні для гарантованої зупинки поширення втомних мікротріщин у фюзеляжі?
3. **Цифровізація конструювання (Індустрія 4.0):** Як впровадження методів цифрового симулювання (CAE, віртуальні краш-тести) та алгоритмів топологічної оптимізації назавжди змінило підхід до створення складних металевих деталей?
4. **Інженерна "медицина" та відбудова:** Чому візуального огляду сталевих каркасів після пожежі чи вибуху критично недостатньо, і яку ключову безпекову роль відіграють методи неруйнівного контролю (зокрема, ультразвукова дефектоскопія)?
5. **Термодинамічна деградація металу:** Як впливає фізичне явище «шокового наклепу» від вибухової хвилі та хаотичного загартування при гасінні пожежі водою на зварюваність та експлуатаційну міцність сталевих несучих балок?
6. **Професійна етика та громадянська відповідальність:** Чому право на викривальну діяльність (whistleblowing) щодо приховування браку та жорстка протидія синдрому «нормалізації відхилень» є найвищим етичним обов'язком сучасного інженера-механіка?

МЕТОДИЧНА ВКАЗІВКА ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ (ДО БЛОКУ №2) Цей перелік охоплює **Блок №2 (Практичні професійно-орієнтовані кейси)** екзаменаційного білета. Цей блок є

найважливішим етапом підсумкового контролю, оскільки він перевіряє не вашу пам'ять, а ваше інженерне мислення.

Відповідь на ці питання вимагає глибокого аналізу того, як відкриття законів прикладної механіки впливали на поведінку стародавніх майстрів, як приймалися управлінські та технологічні рішення на історичному виробництві та як зароджувалася інженерна етика безпеки.

Алгоритм розв'язання екзаменаційного кейсу (Т.А.П.В.):

Щоб отримати максимальний бал, ваша відповідь має будуватися за чіткою структурою:

1. **Теза (Діагноз проблеми):** Чітко назвіть, який закон фізики (статики, кінематики, опору матеріалів) або етичний принцип порушено чи задіяно у цій історичній ситуації.
2. **Аргумент (Техніко-історичний аналіз):** Поясніть фізичну суть проблеми (наприклад, чому дерево спалахує від тертя, або чому вісь ламається від втоми).
3. **Приклад (Дія інженера / Рішення):** Опишіть конкретне історичне інженерне рішення, яке врятувало ситуацію (застосування поліспаста, галтелі, демпфера тощо).
4. **Висновок (Соціально-економічний рівень):** Підсумуйте, як це рішення вплинуло на розвиток суспільства (поява міст, безпека праці, виграш у війні).

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ВІД ПРОСТИХ МЕХАНІЗМІВ ДО СКЛАДНОЇ КІНЕМАТИКИ (Античність – XV ст.)

Кейс 1.1: «Античний дефіцит ресурсу та Золоте правило механіки» *Ситуація:* В Ольвії зводиться монументальний храм. Замовник вимагає підняти на висоту колон 10-тонні мармурові архітрави. У місті епідемія, кількість вільних робітників для створення земляних пандусів і прямого тягнення канатів критично мала. *Завдання:* Спираючись на досвід античних інженерів, запропонуйте механічне рішення (кран-пентаспастос зі ступальним колесом). Поясніть комісії, як комбінація системи шківів та використання ваги тіл робітників замість їхньої м'язової сили дозволила радикально зменшити тягове зусилля, свідомо пожертвувавши швидкістю підйому.

Кейс 1.2: «Транспортна логістика: Тертя ковзання проти Тертя кочення» *Ситуація:* Ранньослов'янський купець планує торгову експедицію лісостеповою зоною напровесні, коли шляхи перетворилися на суцільне болото. У нього є вибір: завантажити крам на старі традиційні сани-волокуші або на щойно винайдений віз на вузьких дерев'яних колесах. *Завдання:* Здійсніть трибологічний аналіз (наука про тертя). Доведіть, чому в умовах м'якого ґрунту перехід до прогресивного тертя кочення (колеса) стане фатальною помилкою, і чому велика площа контакту саней врятує експедицію від зупинки.

Кейс 1.3: «Біомеханічна революція упряжі та тяглова кінематика» *Ситуація:* Сільськогосподарська громада Київської Русі придбала потужних коней для оранки нових земель, але спроба запрягти їх у традиційне волове шийне ярмо призвела до того, що коні задихаються і відмовляються тягнути плуг. *Завдання:* Зробіть анатомо-механічний аналіз проблеми. Запропонуйте інноваційне для тієї епохи рішення — жорсткий плечовий хомут. Поясніть, як зміщення вектора навантаження з трахеї на лопатки дозволило використати кінетичну енергію швидкості коня та спричинило аграрний бум.

Кейс 1.4: «Кінематика перетворення рухів у середньовічній майстерні» *Ситуація:* Давньоруський майстер-токарь, який виготовляє дерев'яні чаші, працює на примітивному верстаті з лучковим приводом. Він скаржиться, що робота йде вкрай повільно, оскільки заготовка обертається то в один, то в інший бік, а різець постійно застрягає. *Завдання:* Поясніть специфіку переривчастого (зворотно-обертового) руху від лучкового приводу. Опишіть, яку роль відіграє жорсткий підручник (опора) в цій системі, і як майстер повинен синхронізувати підведення та відведення різця з робочим і холостим ходом тятиви.

Кейс 1.5: «Інженерія оборонних вібрацій та втома матеріалів стіни» *Ситуація:* Під час захисту фортеці полководець наказує встановити на тонкі кам'яні мури найважчі торсіонні катапульти. Після перших десятків пострілів інженер помічає, що мур під машиною починає вкриватися тріщинами від колосальної віддачі. Полководець вимагає не зупиняти вогонь. *Завдання:* Застосуйте протокол інженерного "вето". Поясніть природу височастотних динамічних вібрацій від удару метального важеля об стопор. Запропонуйте рішення:

застосування композитних демпферів (вовни/шкіри) на стопорі та перенесення машин на земляні вали, які діють як ідеальні амортизатори.

Кейс 1.6: «Погодна криза та перехід до гравітаційної артилерії» *Ситуація:* Середньовічна армія тримає в облозі місто. Починається сезон затяжних холодних дощів. Туго скручені пучки тваринних жил у торсіонних балістах розбухають від вологи, і машини втрачають здатність докидати каміння до стін. Наступ зривається. *Завдання:* Запропонуйте принципово нове джерело потенційної енергії для артилерії. Обґрунтуйте перехід до гравітаційних требюше (фрондибол), робота яких базується на незмінній силі тяжіння масивної противаги. Поясніть роль гнучкої праці як мультиплікатора швидкості снаряда.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. МЕХАНІКА РАННЬОМОДЕРНОЇ ДОБИ (XVI – XVIII ст.)

Кейс 2.1: «Трибологія млинарства: Чому міцний дуб знищує трансмісію?» *Ситуація:* Молодий мірошник вирішив оновити цівкову передачу (зубчастий редуктор) вітряного млина. Бажаючи зробити механізм "вічним", він виточив усі третьові пальці та цівки з найміцнішого дуба замість традиційного граба. За тиждень роботи млин задимився, а зуби згоріли і стерлися в пил. *Завдання:* Спираючись на закони тертя та емпіричне матеріалознавство раннього модерну, поясніть помилку мірошника. Чому високий вміст дубильних речовин у дубі створює колосальний коефіцієнт тертя ковзання, і як використання "смолистих" порід (граба, яблуні) забезпечувало ефект природного сухого мащення?

Кейс 2.2: «Автоматизація гамарні: Кулачковий вал проти М'язової втоми» *Ситуація:* Козацька рудня отримує велике замовлення на виготовлення металевих якорів і зброї. Ковалі фізично виснажені цілодобовою роботою ручними молотами, якість проковування криці падає. Поруч протікає повноводна річка. *Завдання:* Спроектуйте доіндустріальний механізований комплекс. Поясніть кінематику кулачкового механізму: як перетворити безперервний обертовий рух водяного колеса на потужний зворотно-поступальний ударний рух 500-кілограмового хвостового молота. Як ця автоматизація вплинула на продуктивність економіки Гетьманщини?

Кейс 2.3: «Етика зброяра та внутрішня балістика гармат» *Ситуація:* Козацька старшина вимагає від майстра-людвисара терміново і дешево відлити партію бронзових гармат старим методом — навколо глиняного сердечника. Майстер розуміє, що глиняний стрижень зміститься під тиском розплавленого металу, і стінка гармати з одного боку буде тоншою. *Завдання:* Станьте на бік майстра. Використовуючи знання про внутрішній тиск порохових газів, доведіть, що ексцентриситет ствола призведе до крихкого розриву гармати і загибелі власної обслуги. Обґрунтуйте необхідність застосування інноваційного механічного свердління суцільної відливки, захищаючи своє право ставити особисте гарантійне клеймо (QMS).

Кейс 2.4: «Транспортний сайлентблок: Міцність козацької мажі» *Ситуація:* Німецький коваль пропонує чумакам модернізувати їхні мажі: скріпити всі дерев'яні деталі рами товстими залізними цвяхами і болтами для "надійності", відмовившись від в'язання мокрою шкірою (гужвами) та дерев'яних шипів. *Завдання:* З точки зору опору матеріалів та вібраційних навантажень на бездоріжжі, доведіть шкідливість цієї "модернізації". Поясніть, як жорсткі металеві кріплення швидко розірвуть клітинну структуру деревини, і чому гнучкість шкіряних гужвів працювала як ідеальний амортизатор, розсіюючи кінетичну енергію ударів.

Кейс 2.5: «Термодинаміка колісного цеху: Гаряче шинкування» *Ситуація:* Майстер-стельмах повинен надійно і назавжди закріпити залізний обруч (шину) на великому дерев'яному колесі без використання жодного цвяха чи клею. У його розпорядженні є лише горно з вугіллям, вода та інструменти. *Завдання:* Опишіть технологічний процес гарячого шинкування як приклад блискучого володіння законами теплофізики. Поясніть, як термічне розширення нагрітого металу та його раптове стискання (усадка) при охолодженні водою генерує колосальну концентричну силу, що намертво вдавляє спиці в маточину.

Кейс 2.6: «Точна мікромеханіка: Подолання кризи годинникового відкоту» *Ситуація:* На міській ратуші встановлено годинник зі старим шпіндельним спуском. Механізм швидко зношується і показує час із великою похибкою, оскільки при кожному ударі зуба масивні шестерні змушені на долю секунди повертатися назад (ефект відкоту), долаючи тертя. *Завдання:* Поясніть історичне інженерне рішення цієї проблеми — впровадження анкерного спуску та маятникового регулятора Гюйгенса. Розкрийте принцип ізохронності коливань

маятника, який став ідеальним еталоном часу, незалежним від коливань сили тертя в грубо викуваних зубчастих колесах.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. ПРОМИСЛОВА РЕВОЛЮЦІЯ ТА ДИНАМІКА МАШИН (XIX – сер. XX ст.)

Кейс 3.1: «Динаміка парової машини: Подолання мертвих точок» *Ситуація:* На металургійному заводі Донбасу змонтовано нову парову машину для приводу прокатних станів. Проте під час тестового запуску машина регулярно "застрягає" у крайніх положеннях поршня і зупиняється. Робітникам доводиться вручну прокручувати вал ломачами, щоб запустити її знову. *Завдання:* Проаналізуйте кінематику кривошипно-шатунного механізму (КШМ). Поясніть геометричну природу «мертвих точок» (коли плече сили дорівнює нулю). Запропонуйте класичне інженерне рішення — встановлення масивного чавунного маховика — і поясніть, як його колосальна інерція акумулює енергію та згладжує обертання.

Кейс 3.2: «Втома металу та крихкий злам: Трагедія на залізниці» *Ситуація:* На новій ділянці Катерининської залізниці сталася катастрофа: сталева вісь вантажного вагона раптово розлетілася навпіл. Власники залізниці звинувачують сталеварів, хоча метал успішно пройшов усі статичні випробування на розрив. Злам ідеально гладкий, без слідів вигину. *Завдання:* Виступіть у ролі інспектора-експерта. Поясніть явище втоми матеріалів під дією циклічних знакозмінних навантажень (обертання осі під вагою). Вкажіть на головну причину зародження мікротріщин — концентратори напружень (гострі кути) — та обґрунтуйте необхідність їх заміни на радіусні галтелі.

Кейс 3.3: «Рациональна міцність: Битва за профілі балок» *Ситуація:* Інвестори замовляють будівництво високої сталевої кранової естакади. Старі майстри-практики наполягають на використанні масивних квадратних суцільних колон, стверджуючи, що "чим більше металу, тим міцніше". Молоді інженери з політехнічного інституту пропонують легкі двотаврові (Н-подібні) профілі, заощаджуючи 40% сталі. *Завдання:* Доведіть правоту молодих інженерів, спираючись на теорію втрати пружної стійкості (поздовжнього згину) С. Тимошенка. Поясніть, чому зосередження маси металу в центрі перерізу є "мертвою вагою", і як винесення матеріалу на периферію (полиці двотавра) забезпечує максимальний опір згину.

Кейс 3.4: «Аграрна логістика: Революція взаємозамінності» *Ситуація:* У селянина посеред жнив ламається літа чавунна шестірня в імпортній жатці. Місцевий коваль каже, що таку саму він не викує, бо кожен зуб має унікальний профіль. Селянин змушений викинути машину. Згодом він купує сівалку вітчизняного заводу Ельворті. *Завдання:* Поясніть сутність принципу стандартизації та взаємозамінності деталей, запровадженого передовими вітчизняними заводами. Як масове лиття за еталонними лекалами (кокілями) змінило економіку аграрного сектору, дозволивши замовляти деталі за каталогом і ремонтувати складну техніку прямо в полі?

Кейс 3.5: «Суднобудування: Корпус пароплава як плаваюча балка» *Ситуація:* Довгий річковий пароплав із клепанним сталевим корпусом потрапляє у сильний шторм на Дніпрі. В момент, коли хвиля піднімає судно рівно посередині (а ніс і корма провисають у повітрі), на верхній палубі з оглушливим тріском лопаються заклепки, а палубні листи розриваються. *Завдання:* Здійсніть аналіз напружено-деформованого стану корпусу судна (явище перегину). Поясніть, як корпус працює у якості суцільної балки: чому верхня палуба зазнає критичних напружень розтягування, а днище — стискання, і як інженери повинні компенсувати це посиленням поздовжнього набору (стрингерів).

Кейс 3.6: «Мостобудування: Від заклепки до монолітного зварного шва» *Ситуація:* У повоєнному Києві Євген Патон пропонує безпрецедентний проєкт — зведення першого у світі суцільнозварного судноплавного моста через Дніпро. Консервативна інженерна спільнота протестує, вимагаючи повернутися до надійних заклепок, побоюючись, що зварні шви луснуть від вібрації вантажівок. *Завдання:* Проаналізуйте механічні переваги електрозварювання порівняно з клепанням. Доведіть, що зварювання не лише суттєво зменшує загальну масу моста (відсутність накладок і тисяч заклепок), але й забезпечує ідеальний рівномірний розподіл напружень без ослаблення металу свердлінням отворів.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4. СУЧАСНА МЕХАНІКА, РОБОТОТЕХНІКА ТА ІНЖЕНЕРНА ЕТИКА (Друга пол. XX ст. – Сьогодення)

Кейс 4.1: «Аерокосмічне матеріалознавство та ізогридні оболонки» *Ситуація:* Перед інженерами КБ «Південне» стоїть завдання спроектувати паливний бак для міжконтинентальної ракети. Бак має бути надзвичайно легким, щоб збільшити масу корисного навантаження, але стінки з алюмінієвого сплаву товщиною у кілька міліметрів неминуче зімнуться (втратять стійкість) від колосальних осьових перевантажень під час старту. *Завдання:* Опишіть технологію фрезерування ізогридних (вафельних) оболонок. Поясніть з точки зору будівельної механіки, як ця цілісна сітка ромбоподібних ребер жорсткості працює як ідеальний просторовий каркас, запобігаючи втраті пружної стійкості надтонкої стінки без додавання критичної "мертвої маси".

Кейс 4.2: «Цифровий двійник та топологічна оптимізація (CAE)» *Ситуація:* Завод переходить до Індустрії 4.0. Потрібно виготовити титановий силовий кронштейн для дрона. Класичний фрезерований паралелепіпед занадто важкий. Керівництво пропонує токарю "на око" висвердлити зайвий метал, щоб полегшити деталь. *Завдання:* Зупиніть кустарний підхід. Опишіть алгоритм створення Цифрового двійника (Digital Twin) у системах CAD/CAE. Поясніть метод топологічної оптимізації (генеративного дизайну), де комп'ютер за допомогою Методу скінченних елементів автоматично вираховує зони нульових напружень і видаляє весь "лінивий" метал, створюючи легку біонічну деталь зі 100% збереженням жорсткості.

Кейс 4.3: «Експертиза обгорілого цеху: Дефектоскопія проти Жадібності» *Ситуація:* Після ліквідації масштабної пожежі на заводі інвестор вимагає від вас, як від експерта з оцінки міцності, негайно підписати акт придатності обгорілого сталевго каркаса до експлуатації. Він пропонує просто вирівняти прогнуті балки потужними гідравлічними домкратами "на холодну" і відновити роботу. *Завдання:* Застосуйте інженерне "вето". Поясніть фізичні наслідки термічної деградації металу, хаотичного загартування при гасінні водою (утворення крихкого мартенситу) та виникнення критичних залишкових напружень при спробі вирівнювання. Обґрунтуйте безальтернативність застосування інструментальної дефектоскопії (УЗД, твердометрії).

Кейс 4.4: «Шоковий наклеп та етика відновлення інфраструктури» *Ситуація:* Ви керуєте відновленням мосту, зруйнованого вибухом. Зруйнована частина естакади має рвані сталеві краї. Підрядник, бажаючи зекономити час і гроші, пропонує приварити нову конструкцію безпосередньо до цих обірваних, але візуально цілих країв старих балок звичайними електродами без підігріву. *Завдання:* Класифікуйте це як інженерний злочин. Опишіть фізичне явище «шокового наклепу», коли метал в епіцентрі динамічного удару втрачає всю пластичність і стає екстремально крихким. Доведіть необхідність безжального вирізання великої площі "хворого" металу аж до здорової кристалічної решітки перед зварюванням.

Кейс 4.5: «Синдром нормалізації відхилень на автоматизованій лінії» *Ситуація:* Роботизований зварювальний комплекс із ЧПК протягом тижня працює з підвищеною вібрацією на шпинделі, а якість шва іноді має мікропори. Оператори не повідомляють про це головному інженеру, вважаючи це "допустимою нормою", оскільки верстат не зупиняється і план виконується. *Завдання:* Проаналізуйте цю поведінку як небезпечний психологічний синдром «нормалізації відхилень». Поясніть, як ігнорування систематичних дрібних аномалій гарантовано веде до невидимого накопичення втомних пошкоджень у кіберфізичній системі та раптового макроруйнування. Доведіть життєву необхідність культури відкритого діалогу (Speak Up) на виробництві.

Кейс 4.6: «Конфлікт економіки і етики: Інститут Whistleblowing» *Ситуація:* Ви працюєте на суднобудівному заводі. Відділ постачання придбав партію сталевго прокату невідомого походження без сертифікатів. Хімічний аналіз показує надмірний вміст сірки і фосфору (метал крихкий). Директор заводу наказує вам фальсифікувати звіт входного контролю і пустити метал на зварювання несучих конструкцій крана під загрозою звільнення всієї бригади. *Завдання:* Розв'яжіть цю гостру морально-етичну дилему. Спираючись на абсолютний пріоритет безпеки життя над економічною вигодою, аргументуйте свою категоричну відмову. Опишіть свій алгоритм правових дій як соціально відповідального інженера-викривача (whistleblower), щоб зупинити використання дефектного металу.