

## Вступ

### Навіщо нам ця книга?

**К**ожна епоха по-своєму унікальна. Можливо, досвід трьох останніх поколінь (від кінця Другої світової війни до сьогодні) й не був таким поворотним, як досвід тих трьох, що жили до початку Першої світової, але безпрецедентних явищ і проривів там теж не бракувало. Людей, які живуть довше, здоровіше й ліпше від своїх предків, нині більше, ніж колись — інде в історії. Утім, ці щасливці досі в меншості: їх приблизно п'ята частина від усього населення Землі (де зараз живе близько 8 мільярдів людей).

Друге досягнення, гідне захвату, — досі не бачена глибина розуміння фізичного світу й усіх його форм життя. Наші знання відкривають шлях до узагальнень про складні системи космічного (галактики, зорі) й планетарного (атмосфера, гідросфера, біосфера) масштабу та обговорення процесів в атомах і генах: борозенки на поверхні найпотужнішого мікропроцесора лише вдвічі ширші, ніж людська днк. Саме зрозумівши світ, ми змогли створити дедалі більший масив машин, пристроїв, процедур і протоколів, на яких тримається сучасна цивілізація. Масштабність наших сукупних знань і розмаїтість їх застосування на благо людства не вкладається в голову.

Справжніх універсалів епохи Відродження можна було зустріти 1500 року на флорентійській п'яцца Синьйорія — потім вони почали зникати. У середині xviii століття двоє французьких інтелектуалів, Дені Дідро й Жан Лерон Д'Аламбер, ще змогли зібрати довкола себе гурт начитаних авторів, щоб

підсумувати науковий досвід епохи в досить вичерпних статтях багатотомної «Енциклопедії наук, мистецтв і ремесел». Минуло кілька поколінь — і обшир та спеціалізація наших знань стрімко зросли завдяки фундаментальним відкриттям електромагнітної індукції (Майкл Фарадей, 1831, уможливило виробництво електроенергії) та обміну речовин у рослинах (Юстус фон Лібіх, 1840, стало основою виробництва мінеральних добрив), а також теоретичному обґрунтуванню електромагнетизму (Джон Клерк Максвелл, 1861, заклало початок усіх типів бездротової комунікації).

Уже 1872 року, через століття після появи останнього тому французької «Енциклопедії», укладачі будь-якого компендіуму знань мусили обмежуватися поверховим розглядом дедалі ширшого спектра тем, а нині, ще через півтораєста років, усі знання годі підсумувати навіть у межах вузько визначеної спеціалізації. Слова «фізика» чи «біологія» перетворилися на порожні означники, а фахівцям з елементарних частинок важко зрозуміти навіть першу сторінку свіжого дослідження з вірусної імунології. Ясна річ, така атомізація знань аж ніяк не полегшила процедури публічного ухвалення рішень. Високоспеціалізовані галузі сучасної науки стали такими герметичними, що багато фахівців мусять учитися, поки розмінюють четвертий десяток, щоб тільки приєднатися до нової для себе царини.

Ба більше: навіть тим, хто довго вчився, часто непросто дійти спільної думки про вибір найліпшої стратегії. Коронавірусна пандемія 2020 року показала, що такі незгоди між фахівцями можуть стосуватися навіть нібито найпростіших рішень типу носіння масок. Наприкінці березня 2020-го (через три місяці після початку пандемії) Всесвітня організація охорони здоров'я досі радила носити маски лише інфікованим — поворотний момент настав щойно на початку червня. Як люди без фахових знань можуть підтримувати певну позицію чи взагалі розбиратися в дискусіях, які часто закінчуються спростуванням чи підважуванням досі панівних поглядів?

Однак усі ці повсюдні непевності й дебати не виправдовують масштабів нерозуміння основоположних принципів сучасного світу. Зрештою, збагнути, як вирощують жито (розділ 2) чи плавлять сталь (розділ 3), або усвідомити, що глобалізація не така вже й нова чи неминуча (розділ 4), — зовсім не те саме, що розібратися у фемтохімії (вивченні хімічних реакцій тривалістю до  $10^{-15}$  секунд, за яке Ахмед Зевейл здобув Нобелівську премію 1999 року) або полімеразних ланцюгових реакціях (швидкому копіюванні днк, дослідженому Кері Маллісом — лауреатом Нобелівки 1993 року).

Чому ж тоді в більшості наших сучасників таке поверхове уявлення про те, як насправді влаштований цей світ? Відповідь теж лежить на поверхні. У всьому винна складність: люди постійно наштовхуються на так звані чорні скриньки, чиї відносно прості результати на виході майже ніколи не вимагають розуміння внутрішніх процесів. Цей принцип діє у випадку як усюдисущих смартфонів і ноутбуків (де досить ввести простий пошуковий запит), так і глобальних процедур типу вакцинації (напевно, найліпший планетарний приклад 2021 року, де загальнозрозумілим лишається тільки заковування рукава). Однак таку неграмотність годі пояснити самою лише масштабною новітніх знань, що стимулюють вузьку спеціалізованість, з одного боку, й дедалі менше розуміння основоположних принципів (що межує з байдужістю) — з іншого.

Дві важливі причини браку розуміння — урбанізація й механізація. З 2007 року понад половина населення планети живе в містах (для заможних країн ця цифра — 80 %). На відміну від мешканців ранньопромислових міст XIX та початку XX століть, більшість нинішніх містян задіяна у сфері послуг. Ці люди переважно ніяк не пов'язані ані з виробництвом їжі, ані з машиночи приладобудуванням, а механізація всіх виробничих процесів веде до того, що лише дуже невеличка частка людства нині постачає своїй цивілізації енергію й матеріали, з яких складається довколишній світ.

У нинішній Америці лише близько трьох мільйонів людей (землевласників і найманих робітників) беруть безпосередню участь у виробництві їжі. Тільки вони орють поля, сіють насіння, розподіляють добрива, борються з бур'янами, збирають урожай (найбільш трудомістка частина процесу — заготівля фруктів та овочів) і доглядають тварин. Це менш ніж 1 % населення країни, тому зовсім не дивно, що американці здебільшого дуже приблизно собі уявляють, звідки береться їхній хліб чи м'ясо. Комбайни збирають зерно — а соєві боби чи сочевицю теж збирають? Скільки часу мине, доки поросятко перетвориться на свинячу відбивну? Тижні? Роки? Дуже багато американців цього просто не знають — і вони не самі. Китай виробляє найбільшу частку світової сталі (щороку там виплавляється, виливається й прокочується близько мільярда тонн цього сплаву), але у виробництві сталі задіяно менш ніж 0,25 % з 1,4 мільярда тамтешнього населення. Лише крихітна часточка китайців колись стояла біля доменних печей чи бачила ливарний цех і червоні язики розжареного металу. Така ситуація типова для всього світу.

Ще одна ключова причина дедалі слабшого розуміння засадничих процесів постачання енергії (у вигляді їжі або палива) й тривких матеріалів (металів, неметалічних мінералів чи бетону) — їхня старомодність (чи навіть застарілість) і очевидна нецікавість для світу, де домінують інформація, дані й зображення. Найсвітліші голови покоління не йдуть в агрономи й не намагаються зробити якісний бетон; їх вабить нематеріальна інформація, нині втілена в потоках електронів і міріадах електродевайсів. Юристи, економісти, програмісти й банкіри отримують непропорційно високу платню за роботу, що ніяк не пов'язана з матеріальними реаліями земного життя.

Ба більше: чимало апологетів цифрового світу дійшли висновку, буцімто потоки даних торують цим химерним старим матеріальностям дорогу в непам'ять. В урбаністичних хмарочосах колись засіють поля, а синтетичні продукти вресіт-ресіт

ліквідують потребу вирощувати будь-яку їжу. Дематеріалізація, стимульована штучним інтелектом, покладе край нашій залежності від металевих зливків та оброблених мінералів, а згодом нам, може, навіть вдасться обійтися й без атмосфери: нащо вона тим, хто заселить Марс? Усе це не просто вкрай необдумані прогнози, а звичайні фантазії, стимульовані вразливим до фейків суспільством, де вигадка настільки змішалася з правдою, що цікаві уми, піддатливі до новітнього сектантства, починають вірити в речі, котрі обачні попередники безжально таврували б як відверту маячню.

Ніхто з читачів цієї книжки не мешкатиме на Марсі. Усі ми й далі харчуватимемося основними зерновими культурами, вирощеними на великих площах орних земель, а не на балконах хмарочосів, як уявляють собі поборники ідеї так званого міського фермерства. Ми не житимемо в дематеріалізованому світі, де нікому не потрібні такі незамінні природні явища, як випаровування води чи запилення рослин, — однак постачати ці незамінні блага стане дедалі складніше. По-перше, великий відсоток людства лишається в тих умовах, які заможна меншість залишила позаду вже кілька поколінь тому, а по-друге, збільшення потреби в енергії та матеріалах виснажує біосферу так сильно й швидко, що ми вже поставили під загрозу її здатність тримати свої видатки й запаси в межах, сумісних із довготерміновим функціонуванням.

Наведу одне просте порівняння. 2020 року середній річний показник енергоспоживання на душу 40 % населення світу (3,1 мільярда людей включно з населенням майже всіх африканських країн на південь від Сахари) не перевищував такого самого показника в Німеччині й Франції 1860 року! Щоб наблизитися до межі гідного життя, цим людям слід буде принаймні подвоїти (а краще потроїти) енергоспоживання, збільшити енергопостачання, активізувати виробництво їжі й розбудувати необхідну міську, промислову й транспортну інфраструктуру. Такі потреби неминуче поглиблять деградацію біосфери.

А що робити з поточними змінами клімату? Дійшли спільної думки: слід *дещо* зробити, аби запобігти багатьом дуже небажаним наслідкам. Але які ж саме дії чи поведінкові зміни будуть найефективнішими? У тих, хто ігнорує енергетичні й матеріальні імперативи, віддавшись зеленим мантрам замість спробувати зрозуміти, як ми опинилися в нинішній точці існування, є простий рецепт: декарбонізуймося — перемкнімося зі спалювання вугілля на невичерпні потоки поновної енергії. Проблема тільки одна: технічний і науковий прогрес, якість життя й процвітання нашої цивілізації органічних корисних копалин залежать від спалювання колосальних обсягів вугілля. Ми не можемо просто взяти й відмовитися від цього критично важливого компонента свого добробуту навіть за кілька десятиліть — що вже казати про роки!

Повну декарбонізацію світової економіки до 2050 року нині можна уявити лише як результат неймовірного глобального економічного спаду чи надзвичайно швидких трансформацій унаслідок дивовижного технічного поступу. Але хто з власної волі наблизатиме перший, коли нам досі бракує переконливої, практичної та реалістичної глобальної стратегії й технічної бази для другого? Що з нами насправді станеться? Між дійсністю і зиченневим мисленням (видаванням бажаного за дійсне) зяє широка прірва, але в демократичному суспільстві раціональна конкуренція ідей і пропозицій неможлива без бодай дрібки релевантної інформації про реальний світ, якою оперують усі сторони (замість хизуватися своїми упередженнями й висловлювати твердження, відірвані від фізичних можливостей).

У цій книжці я спробую зменшити дефіцит розуміння, пояснивши деякі засадничі реалії, від яких залежать наше виживання й процвітання. Я не ставлю собі за мету ані прогнозувати, ані окреслювати жодних ейфоричних чи депресивних сценаріїв майбутнього, бо не бачу потреби розвивати цей досі популярний, але завжди утопічний жанр, оскільки всі неочікувані повороти й комплексні взаємодії годі передбачити індивідуальним

чи колективним розумом. Не боронитиму я й жодної специфічної (ангажованої) інтерпретації дійсності — ані як приводу для відчаю, ані як джерела неозорих сподівань. Я не песиміст і не оптиміст — я науковець, який намагається пояснити, як насправді влаштований світ, щоби ми ліпше розуміли всі свої майбутні обмеження й можливості.

Таке дослідження неминуче виявиться вибірковим, але кожна із семи ключових тем, відібраних для поважнішої розмови, проходить тест на екзистенційну потребу: тут немає жодного легковажного вибору. У першому розділі показано, як наші високоенергетичні суспільства поступово й неухильно збільшують свою залежність від паливних корисних копалин загалом і від електрики (найваріативнішої форми енергії) зокрема. Ураховання цих реалій допоможе внести давно потрібні корективи в поширені твердження (ґрунтовані на нерозумінні складних реалій), буцімто ми зможемо спішно декарбонізувати світову економіку й через 20–30 років повністю перейдемо на поновні джерела енергії. Звісно, ми вже нині генеруємо дедалі більше енергії з нових екологічно безпечних джерел (до вже звичної води додалися сонце й вітер), а на дорогах щораз частіше можна побачити електромобілі, — але декарбонізувати вантажні перевезення, авіаперельоти й судноплавство так само складно, як і виробляти ключові матеріали без паливних корисних копалин.

У другому розділі цієї книжки йдеться про основний елемент виживання — виробництво нашої їжі. Пишучи його, я намагався докладно пояснити, що все, чого ми потребуємо для виживання (від пшениці до помідорів і криветок), єднає залежність від істотних прямих і непрямих запасів паливних корисних копалин. Усвідомлення цієї глибинної залежності — запорука реалістичної оцінки нашої постійної потреби у вугіллі: генерувати електрику за допомогою вітряних турбін і сонячних батарей не так і складно; значно важче запускати всю польову техніку без рідких паливних корисних копалин і виробляти добрива та іншу агрохімію без природного газу й нафти. Одне слово,

у найближчі кількадесят років без паливних корисних копалин як джерел енергії й сировини свою планету ми не прогудемо.

У третьому розділі я пояснюю, як і чому існування сучасних суспільств залежить від матеріалів, створених людським генієм, і зосереджуюся на чотирьох стовпах новітньої цивілізації: аміаку, сталі, бетоні й пластмасах. Зрозумівши відповідні реалії, читачі зможуть легше усвідомити оманливість модних прогнозів про дематеріалізацію сучасних економік, збудованих на послугах і мініатюрних електроприладах. Однією з визначальних тенденцій нинішнього індустріального розвитку стало відносне зменшення матеріальних витрат на одиницю готової продукції. Утім, навіть у найзаможніших країнах абсолютні матеріальні потреби постійно зростають, а в найбільш розвинених до їхнього вдоволення ще дуже й дуже далеко: комфортні кондиціоновані квартири з облаштованими кухнями (про авто не може бути й мови) там лишаються недосяжною мрією.

Четвертий розділ — це історія глобалізації, що розповідає про роль транспорту й комунікацій у взаємопов'язаному світі. Історична перспектива показує, якої (сивої) давнини сягає коріння цього процесу і як мало часу минуло, відколи він став справді глобальним. Прочитавши цей розділ, читачі побачать, що в майбутті дуже уславленого, украй неоднозначного й часто критикованого амбівалентного процесу глобалізації немає нічого невідворотного. Світ став свідком кількох нещодавніх відступів на попередні позиції й загальної моди на популізм і націоналізм, але ніхто поки не розуміє, як далеко все це зайде і яким чином на такі зміни вплине комбінація економічних, безпекових і політичних чинників.

П'ятий розділ пропонує реалістичну схему оцінки ризиків. Людство успішно анулювало чи бодай зменшило чимало ризиків смерті або каліцтва (приміром, від поліомієліту чи пололів). Дуже багато небезпек лишиться з нами назавжди, але нам ніяк не вдається правильно оцінити їхні ризики: ми завжди применшуємо чи перебільшуємо загрозу. Ті, хто дочитає розділ



до кінця, ліпше розумітимуть відносні ризики багатьох поширених випадкових контактів і навмисних дій (від падіння у власному домі до міжконтинентального перельоту й від життя в ураганному місті до стрибка з парашутом). Пробивши павутиння дієтологічної маячні, ми розглянемо кілька варіантів раціону, що допоможе прожити довше.

На початку шостого розділу я аналізую, як сучасні зміни доквілля можуть вплинути на запаси трьох життєво необхідних елементів: кисню, води та їжі. Решту розділу присвячено глобальному потеплінню, що тривожить новочасних екологів і, з одного боку, веде до нового апокаліптичного катастрофізму, а з іншого — до цілковитого заперечення дійсності. Замість зводити порахунки (уже зведені в багатьох книгах), я наголошу, що (всупереч поширеній думці) глобальне потепління — не нововідкритий феномен: основні елементи цього процесу були зрозумілі вже півтора століття тому.

Понад сто років ми знаємо про темпи потепління, пов'язаного з подвоєнням обсягу вуглекислого газу в атмосфері. Більш ніж пів століття тому нас опередили про безпрецедентність (і унікальність) цього планетарного експерименту — адже неперервні точні вимірювання рівня  $\text{CO}_2$  почалися ще 1958-го. Але ми вирішили ігнорувати пояснення, попередження й задокументовані факти, посиливши свою залежність від паливних корисних копалин, яку тепер годі усунути легко, швидко й дешево. Хтозна, коли нам вдасться це змінити. Додайте до всього вищезгаданого решту екологічних проблем, і вам доведеться визнати, що ключове екзистенційне запитання (чи може людство самореалізуватися в безпечних кордонах своєї біосфери?) не має простих відповідей. Без розуміння фактів годі рухатися далі. Лише зрозумівши факти, можна ефективно шукати розв'язання проблем.

У останньому розділі я зазираю в майбутнє, наголосивши на двох різноспрямованих тенденціях: катастрофізмі (чиї прибічники твердять, буцімто до краху сучасної цивілізації лишилися лічені роки) і технооптимізмі (чиї прихильники прогнозують,

що винахідливість відкриє людству шлях у позаземні світи, на тлі яких усі земні проблеми здаватимуться малозначущою старовиною). Цілком прогнозовано, що моя перспектива відходить від обох цих позицій і не підтримує жодної з наведених доктрин. Я не бачу ані підстав для неминучого розриву історичної тяглості в котромусь із двох напрямів, ані наперед визначених наслідків. Я бачу складну траєкторію, залежну від нашого аж ніяк не чіткого вибору.

У цієї книги дві підвалини: численні здобутки світової науки й пів століття авторових писань і досліджень. Серед наукових досягнень — усі відкриття від класичних теорій перетворення енергії та парникового ефекту (кінець XIX століття) до найновіших оцінок глобальних проблем та ймовірностей ризику. Ця далекосяжна книга не могла з'явитися на світ без десятиліть міждисциплінарних студій, утілених у її численних попередницях. Відійшовши від античного порівняння лисиць і їжаків (лисиця знає багато речей, а їжак — одну, але особливу), я поділяю сучасних науковців на бурильників дедалі глибших свердловин (які обрали найпевніший шлях до слави) й прочісувачів широких територій (яких нині дуже поменшало).

Мене ніколи не вабила перспектива пробурити найглибшу свердловину й стати неперевершеним знавцем крихітної цяточки неба, помітної з її дна. Я завжди намагався сягати настільки далеко й широко, наскільки мені дозволяли власні обмежені можливості. Я все життя цікавився енергією, бо належно опанувати цю царину знань можна, лише сполучивши розуміння фізики, хімії, біології, геології й механіки з увагою до історичних, соціальних, економічних та політичних чинників.

Чи не в половині з моїх понад 40 (переважно академічніших) книг ідеться про різні аспекти енергії. Там можна знайти багато форматів: від панорамних досліджень загальної ролі енергетики та енергії в історії людства до аналізу окремих різновидів палива (нафти, природного газу, біомаси) чи конкретних властивостей і процесів (питома потужність, перетворення енергії).

Решта моєї творчої спадщини прозраджує міждисциплінарні пошуки: я писав про такі основоположні явища, як ріст (у всіх його природних і антропогенних подобах) і ризик, про глобальне довкілля (біосферу, біогеохімічні цикли, світову екологію, фотосинтетичну продуктивність і врожаї), їжу й сільське господарство, матеріали (передусім про сталь і добрива), технічний поступ, розвиток і занепад мануфактур, а також про історію Стародавнього Риму й сучасної Америки та японську кухню.

Поза сумнівом, ця книга (підсумок ціложиттєвої праці, призначений для широкого кола читачів) — продовження одвічних спроб зрозуміти основи біосфери, історії та створеного нами світу. Вона робить те саме, чим я повільно й невтомно займаюся цілими десятиліттями, — уперто обстоює доцільність відходу від крайніх поглядів. Новітні (дедалі ревніші й ейфоричніші) оборонці таких поглядів розчаруються, не знайшовши тут ані голосінь про кінець світу у 2030-му, ані пристрасного захвату неймовірними трансформаціями штучного інтелекту, що стаються швидше очікуваного. Ця книга намагається дати основу для виваженішої й неодмінно агностичної перспективи. Сподіваюся, мій раціональний і заснований на фактах підхід допоможе читачам збагнути, як насправді влаштований світ і які шанси прийдешніх поколінь побачити його ліпшим.

Але перш ніж ви зануритеся в конкретні теми — одне попередження й прохання. Тут буде багато (метричних) чисел, бо сучасні реалії годі досягнути в межах самого тільки якісного підходу. Звісно, чимало з цих чисел дуже великі чи, навпаки, дуже малі — найліпше їх виражати за допомогою порядків і відповідних загальноновживаних префіксів. Тим, хто не має належної бази в цій царині, стане в пригоді додаток про те, як тлумачити великі й малі числа (мабуть, таким читачам найліпше буде почати книгу саме з нього). Тих же, хто починатиме спочатку, я запрошую в перший розділ, де можна ближче й кількісніше ознайомитися з різними видами енергії. Така перспектива ніколи не вийде з моди.