

УДК 005.44:504.062:331.45

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-49>

ЕНТРОПІЯ БЕЗПЕКИ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ І ЗДОРОВ'ЯМ ПРАЦІВНИКІВ НА РОБОТІ

Цопа Віталій Андрійович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри менеджменту
Міжнародного інституту менеджменту
ORCID ID: 0000-0002-4811-3712

Чеберячко Сергій Іванович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,
професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0003-3281-7157

Дерюгін Олег Валентинович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри управління на транспорті
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-2456-7664

Володченкова Наталія Валеріївна,

кандидат технічних наук, доцент,
декан гірничо-металургійного факультету
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0003-4617-7285

Репін Микола Володимирович,

кандидат технічних наук,
завідувач кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0002-0318-8278

У роботі розглянуто концепцію ентропії безпеки як фундаментальної, як комплексного стохастичного показника, що визначає рівень неупорядкованості та схильності до деградаційних процесів у системах управління безпекою праці та здоров'ям працівників (СУБПЗР). Запропонований авторами підхід базується на принципах класичної термодинаміки та положеннях міжнародного стандарту ISO 45001:2018, що дає змогу розглядати СУБПЗР як відкриту соціально-технічну систему, яка функціонує під впливом багатьох внутрішніх і зовнішніх випадкових чинників. Розроблено абстрактну модель взаємозв'язку між рівнем ентропії та невиконанням вимог безпеки, яка відображає динамічність поведінки системи та необхідність підтримання її у контрольованому низькоентропійному стані для запобігання небезпечним подіям.

Запропоновано діагностичний чек-лист для оперативної ідентифікації симптомів ентропії безпеки, серед яких виділено деградацію процесів, інформаційні та комунікаційні бар'єри, культурну апатію, втрату знань та опір організаційним змінам. Застосування запропонованого інструменту дає змогу здійснювати проактивне управління ризиками, своєчасно виявляти критичні точки та впроваджувати ефективні профілактичні заходи.

Отримані результати підтверджують, що стійке функціонування СУБПЗР можливе лише за умови постійного імпорту впорядковуючої енергії та інформації через лідерство, навчання персоналу, систематичний моніторинг і розвинені механізми зворотного зв'язку. Практична значущість роботи полягає у формуванні науково обґрунтованої методологічної бази для розвитку стратегій безпеки, мінімізації виробничого травматизму та підвищення стійкості організаційних систем, що робить запропонований підхід універсальним інструментом для застосування у різних секторах промисловості та сервісу.

Ключові слова: ентропія безпеки, негентропійні функції, система управління безпекою праці і здоров'ям, проактивне управління ризиками, запобігання травматизму.

Tsopa Vitaly, Cheberyachko Sergey, Deryugin Oleg, Volodchenkova Natalia, Repin Mykola. Entropy of safety in the occupational health and safety management system

This study explores the concept of safety entropy as a fundamental and comprehensive stochastic indicator that determines the degree of disorder and susceptibility to degradation processes within occupational health and safety management systems (OHSMS). The approach proposed by the authors is based on the principles of classical thermodynamics and the provisions of the international standard ISO 45001:2018, which makes it possible to consider OHSMS as an open socio-technical system operating under the influence of numerous internal and external stochastic factors. An abstract model has been developed to describe the relationship between the level of entropy and non-compliance with safety requirements, which reflects the dynamic behavior of the system and the necessity of maintaining it in a controlled low-entropy state to prevent hazardous events.

This study explores introduces a diagnostic checklist designed for the prompt identification of safety entropy symptoms, including process degradation, informational and communication barriers, cultural apathy, knowledge loss, and resistance to organizational change. The application of this tool enables proactive risk management, timely detection of critical points, and implementation of effective preventive measures.

The results confirm that the stable functioning of OHSMS is achievable only through continuous import of ordering energy and information, realized via leadership, staff training, systematic monitoring, and well-developed feedback mechanisms. The practical significance of this work lies in the establishment of a scientifically substantiated methodological framework for developing safety strategies, minimizing occupational injuries, and enhancing the resilience of organizational systems. This makes the proposed approach a universal instrument applicable across various industrial and service sectors..

Keywords: safety entropy, negentropic functions, occupational health and safety management system, proactive risk management, injury prevention.

Вступ. Безпека праці визначається як захищеність трудової діяльності людини від перевищеного прийняттого ризику [1]. Для її забезпечення створюється система управління безпекою праці, яка являє собою сукупність взаємозалежних або взаємодіючих елементів організації для створення політик, а також процесів для досягнення цілей [2]. При цьому виконання процесів дає змогу організації досягати бажаних результатів із заданою ефективністю та результативністю. Разом із тим у будь-якій системі (бізнес-середовищі) діє ентропія, яка являє собою міру неупорядкованості, хаосу чи невизначеності в системі [3]. Ентропія впливає на неформальні аспекти, що відбуваються в організації, такі як її культура, робочий клімат, управління конфліктами, прийняття рішень, процеси комунікації, командна робота, рівень емпатії, необхідні навички та управління помилками [3; 4]. Нині в умовах змін та невизначеності ентропія в організації є постійною, хоча водночас вона може бути елементом еволюції, оскільки виникають нові бізнес-цілі [5]. Ентропія дає змогу зрозуміти існування чинників, які збільшують невизначеність, а також знайти інструменти для запобігання настанню небезпечної події.

Згідно з другим законом термодинаміки, ентропія шкодить ізольованим системам [6], тому необхідно розрізняти відкриті та закриті системи управління. Так, у відкритій системі ентропія має тенденцію бути негативною, оскільки відбувається обмін енергією між системою та її оточуючим середовищем. Звідси, чим більше система ізольована, тим сильніше зростатиме ентропія. І навпаки, чим відкритіша

система, тим краще вона зможе адаптуватися до змінних обставин, зменшуючи накопичення ентропії і прагнучи до збалансованості [7].

Для зменшення накопичення ентропії у системах управління безпекою праці виникає необхідність у застосуванні процесного підходу, оскільки управління взаємопов'язаними процесами як системою сприяє досягненню її запланованих результатів [8]. Фундаментальним елементом процесного підходу є ієрархічний порядок. Це вимагає проведення постійних досліджень взаємозв'язків як між структурами, так і процесами для виявлення різних чинників, що збільшують ентропію у системі управління. Отже, з'являється потреба у розробленні моделей взаємозв'язку між законами термодинаміки та вимогами ISO 45001:2018 до систем управління безпекою праці, які дадуть змогу зменшити накопичення ентропії.

Мета роботи пов'язана з розробленням моделі взаємозв'язку між невиконанням вимог ISO 45001:2018 та рівнем ентропії у системах управління безпекою, що дає змогу знизити рівень травматизму.

Методи та методики дослідження. Для побудови моделі взаємозв'язку між рівнем ентропії та невиконанням вимог ISO 45001:2018 пропонується розглянути систему управління безпекою і здоров'ям працівників на роботі як сукупність трьох складників: структури, яку можна формально описати; наявності функціональних моделей поведінки, а також форми та функції системи, що не є статичними. Звідси представляємо, що ентропія дає змогу кількісно визначити рівень хаосу або безладу в системі через здатність організації підтримувати

диференційований стан, що є важливим для сприяння довгостроковому сталому розвитку організації.

Наукова новизна полягає у розробленні концепції ентропії безпеки, яка є постійною та фундаментальною загрозою для будь-якої організації через неблаганної природної робочому і соціальному середовищам тенденції до втрати структури, функціональності та, зрештою, здатності системи управління захищати життя і здоров'я працівників.

Практична цінність полягає у розробленні абстрактної моделі для визначення рівня ентропії на основі проведення аудиту відповідно до розробленого діагностичного чек-листа.

Аналіз публікацій показав існування зацікавленості у дослідженні еволюції систем управління організацій для підвищення їх результативності. При цьому існує низка публікацій, які пов'язують накопичення ентропії у різних системах управління, наприклад якістю з рівнем хаосу в системі [9–12]. Зокрема, автори статті [9] говорять про необхідність відкритості систем управління до можливих змін як одного з головних шляхів адаптації систем управління до економічної, соціальної, технологічної та культурної реальності. У зворотному напрямі це сприятиме накопиченню ентропії, спричиняючи безлад та хаос. У статті [10] автори вказують, що одним зі шляхів контролю за рівнем ентропії в організації є наявність бажання працювати та наявність відповідних для цього ресурсів. Автори стверджують, що зазначені складники дають змогу бути готовим до змін, які неодмінно відбудуться. В іншій публікації [11] говориться про необхідність забезпечення гнучкості організаційним структурам, що дасть змогу зменшити накопичення негативних процесів у системах управління. Зазначається, що для гнучкості потрібні компетентні працівники, які здатні постійно адаптуватися до нових викликів на всіх рівнях організації [5; 12].

Розглядаючи ентропію як випадковий і рівномірний розподіл енергії, протилежний тому, що відбувається у суспільстві, автори публікації [13] говорять про неможливість отримати додаткову енергію без забезпечення відповідного обміну і взаємодії. При цьому вони зазначають, що частина енергії завжди буде втрачена через непорозуміння, недоліки чи невідповідності, що спонукає до постійного пошуку шляхів стимулювання надходження енергії ззовні для підтримки бізнесу. У роботі [14] говориться, що, застосовуючи Перший закон термодинаміки, збільшити кількість енергії для розвитку організації можна за рахунок раціонального

управління талантами. Автори стверджують, що процес навчання дає змогу забезпечити необхідну трансформацію індивідуальної та колективної енергії до більш ефективного стану [14]. Звичайно, можна стверджувати про існування в організаціях безглузлого розсіювання енергії працівників. Разом із тим її можна відновити за допомогою адекватних керівних дій [15].

Кількісна оцінка ступеня невизначеності певних подій, що включають стохастичні процеси, є поширеною проблемою [16]. Ця невизначеність часто передбачає хаос, неоднозначність та відсутність передбачуваності, що робить прогнозування стохастичних процесів надзвичайно складним. На цьому тлі концепція ентропії стає ключовим інструментом для розуміння та кількісної оцінки невизначеності, неоднозначності та безладу систем. Кількісна оцінка ентропії охоплює численні сфери, її різноманітність відображається у різних типах ентропії, чи то вимірювання розподілу енергії в термодинамічних системах як термодинамічна ентропія, кількісна оцінка багатства інформації в повідомленнях в інформаційних системах – як інформаційна ентропія, опис ступеня невизначеності в психічних станах – як психологічна ентропія, чи вимірювання порядку та стабільності у соціальних системах як соціальна ентропія, концепція ентропії забезпечує надійний та послідовний метод кількісної оцінки. Це особливо важливо для аналізу в галузях, що включають імовірність та невизначеність.

Мета статті – запропонувати взаємозв'язок між законами термодинаміки та вимогами ISO 45001:2018 до систем управління безпекою, які дадуть змогу оцінити рівень накопичення ентропії у системі.

Для побудови моделі взаємозв'язку між рівнем ентропії та невиконанням вимог ISO 45001:2018 пропонується розглянути систему управління безпекою і здоров'ям працівників на роботі як сукупність трьох складників. Перший передбачає, що система має структуру (форму), яку можна формально описати. Другий – система демонструє функціональні моделі поведінки, це означає, що поведінка між людьми взаємопов'язана, зосереджуючись на їхніх характерних властивостях, а не на вимірі часу. Третій – форма та функція системи не є статичними, а змінюються з часом, що можна описати як складні системні коливання. Звідси уявляємо, що ентропія дає змогу кількісно визначити рівень хаосу або безладу в системі через здатність організації підтримувати диференційований стан, що є важливим для сприяння довгостроковому сталому розвитку організації [17].

У класичній термодинаміці ентропія є мірою неупорядкованості, хаосу або невизначеності в системі [6; 18]. Це фундаментальна властивість, яка описує напрям спонтанних процесів. Другий закон термодинаміки стверджує, що в ізольованій системі ентропія ніколи не зменшується з часом [6]. Цей принцип часто ілюструють простими метафорами: ваза, що розбивається на сотні уламків, є швидким і незворотним переходом від упорядкованого стану з низькою ентропією до неупорядкованого стану з високою ентропією – тобто втрати предмету. Це розрізнення дає змогу переосмислити організаційну ентропію. Вона проявляється не лише в захаращених робочих місцях чи заплутаних процедурах, а й у фундаментальній втраті здатності організації ефективно виконувати свої основні функції безпеки. Це втрата «потенціалу безпеки», коли ресурси, знання та процеси існують, але їхня впорядкована структура, необхідна для запобігання шкоді, деградувала.

Результати. Система управління безпекою праці і здоров'я на роботі (СУБПЗР) являє собою систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на збереження життя і здоров'я працівників у процесі трудової діяльності [2; 19].

Кінцевою метою системи СУБПЗР є примусове утримання виробничої системи в дуже специфічному, малоімовірному і, отже, низькоентропійному макростані, тобто «безпечне та здорове робоче місце». Цей стан за своєю природою нестабільний. Другий закон термодинаміки стверджує, що системи природним чином рухаються до більш імовірних станів [21]. Мета системи управління СУБПЗР – досягнення менш імовірного стану [22]. Це створює фундаментальну напругу і означає, що «безпечне робоче місце» – це штучний елемент у виробничій системі, який протистоїть природним тенденціям системи. Саме тому самозаспокоєння та ослаблення контролю у питаннях безпеки настільки небезпечні: вони еквівалентні припиненню подачі енергії, необхідної для підтримки штучного низькоентропійного стану, що дає змогу системі негайно почати дрейф до свого природного, високоентропійного (неупорядкованого та небезпечного) стану, у результаті чого зростає кількість інцидентів, аварій, пожеж, катастроф (рис. 1). Щоб застосувати термодинамічний підхід у сфері СУБПЗР, необхідно формально визначити робоче місце як термодинамічну систему – сукупність матеріальних (працівників, обладнання, матеріалів) та нематеріальних (процедур, інформації, культури) елементів, що

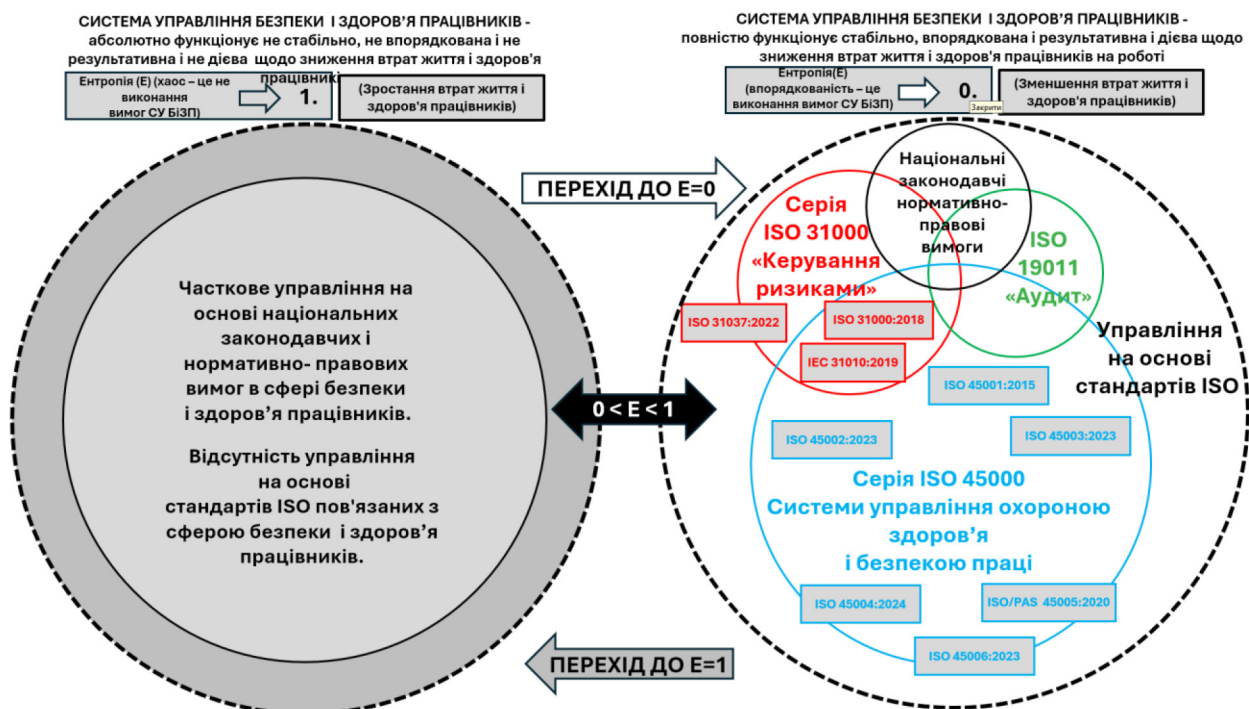


Рис. 1. Стани системи управління безпекою праці та здоров'я працівників з ентропією, що:
а) наближається до одиниці – неупорядкований стан у системі управління БПЗР;
б) наближається до нуля – упорядкований стан у системі управління БПЗР;
E – ентропія – ступінь невизначеності ситуації у системі управління БПЗР, міра розупорядкованості системи системи $0 < E < 1$

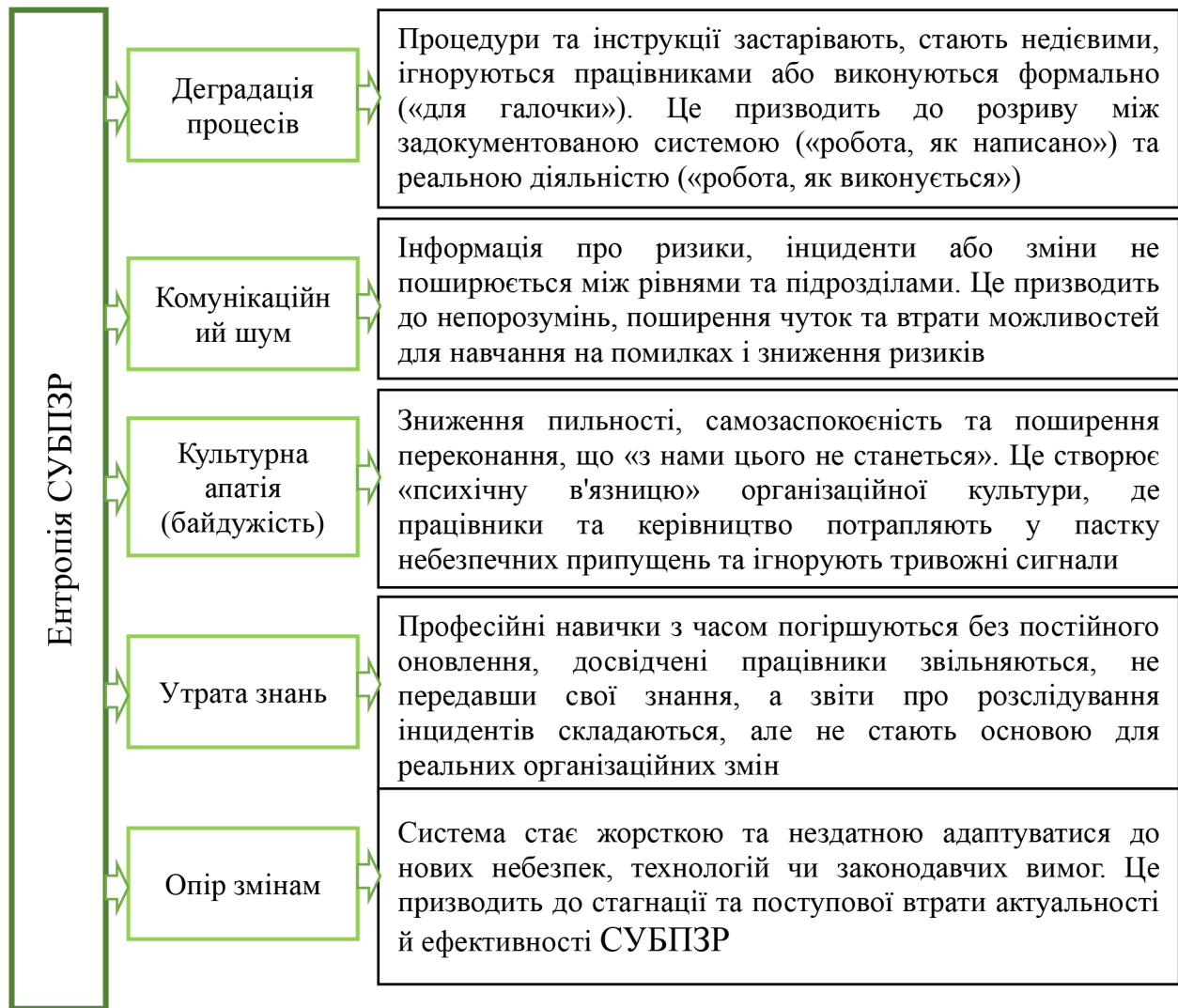


Рис. 2. Схематичне зображення типології симптомів «ентропії безпеки» в рамках СУБПЗР

взаємодіють між собою та з навколишнім середовищем у межах визначених кордонів.

Якщо проаналізувати теоретичні концепції ентропії на практиці, можна виділити типологію симптомів «ентропії безпеки» в рамках СУБПЗР (рис. 2).

Суть аналогії полягає у тому, що величезна кількість різних небезпечних мікростанів може призвести до одного й того ж макростану «нещасний випадок». Наприклад, падіння працівника може бути викликане розливою рідиною, незакріпленим кабелем, зламаною сходинкою, неуважністю, поганим освітленням тощо. Кожна із цих причин – окремий мікростан, але всі вони належать до одного макростану «травма внаслідок падіння». Водночас макростан «безпечна робота» вимагає набагато вужчого та специфічнішого набору мікростанів: інструменти на своїх місцях; працівники навчені, компетентні, уважні; обладнання справне; проходи вільні тощо. Отже, термодинамічна ймовірність нещасного випадку (W – нещасний випадок)

за своєю природою завжди значно більша, ніж термодинамічна ймовірність абсолютної безпеки (W – безпека).

Ця концепція нерозривно пов'язана з Другим законом термодинаміки, який має кілька еквівалентних формулювань. Він стверджує, що теплота не може самовільно переходити від холодного тіла до гарячого (формулювання Клаузіуса) [23], що неможливо створити вічний двигун другого роду, який би повністю перетворював теплоту від одного джерела на роботу (формулювання Томсона – Кельвіна [24]), і, що найважливіше для нашого аналізу, ентропія ізольованої системи ніколи не зменшується. Будь-яка система, залишена сама на себе, буде самовільно еволюціонувати в бік найімовірнішого стану – стану з максимальною ентропією. Цей закон визначає «стрілу часу» – незворотний напрям усіх природних процесів у бік збільшення безладу.

Така термодинамічна перспектива дає змогу переосмислити природу нещасних

випадків, відходячи від суто детермінованого погляду («якщо порушено правило X, станеться подія Y») до ймовірнісного розуміння. Безпечне робоче місце – це не те, де нещасний випадок неможливий у принципі, а те, де його ймовірність у край малу, оскільки число мікростанів, що ведуть до збою (W_{-} – збій), було цілеспрямовано і значно скорочене порівняно з числом мікростанів, що ведуть до успіху (W – успіх). Це перетворює оцінку ризиків із простого дотримання чек-листа на ймовірнісний аналіз «фазового простору» можливостей системи.

Фізичне поняття безладу безпосередньо пов'язане з виробничими небезпеками. Захаращений, дезорганізований робочий простір – це середовище з високою ентропією. Існує багато більше способів, коли в такому середовищі щось може піти не так (спотикання, падіння, пожежі через безладне складування, неможливість знайти засоби пожежогасіння), ніж у впорядкованому. Цей зв'язок не метафоричний, а причинно-наслідковий.

Хоча ми не можемо присвоїти числове значення S робочому місцю з використанням фізичної сталої k , формула $S = k \ln W$ надає потужну концептуальну залежність [25]. Вона показує, що потенціал ризику (наш аналог S) зростає логарифмічно зі збільшенням числа можливих шляхів відмов, невідповідностей та інцидентів (W). Це означає, що навіть невелике збільшення складності або безладу в системі може призвести до значного зростання прихованого ризику. Ця відмінність між прихованою ентропією та невідповідностями й інцидентами (аварії, пожежі, катастрофи тощо) має вирішальне

значення. Захаращений цех має високу ентропію навіть тоді, коли ніхто не отримує травм.

Нещасний випадок – це траєкторія руху системи зі стану з прихованою високою ентропією до реалізованого макростану – небезпечної події: (виникнення невідповідності, інциденту, пожежі, аварії тощо) [26]. Це пояснює важливість запобіжних заходів безпеки (таких як підтримання порядку або профілактичне навчання, обслуговування тощо), націлених на зниження прихованої ентропії до того, як вона зможе проявитися у вигляді активного збою – небезпечної події (виникнення невідповідності, інциденту, пожежі, аварії тощо).

Для того щоб зробити абстрактну аналогію конкретною та застосовною, уведемо зіставлення термінів. Табл. 1 слугує глосарієм та концептуальною опорою для всього подальшого аналізу.

Щоб перейти від метафори до практичного інструменту, можна створити таблицю, яка переводить мову стандарту ISO 45001:2018 на мову термодинаміки та теорії систем (табл. 2). Такий підхід дає змогу по-новому поглянути на вимоги стандарту, розуміючи не просто *що* потрібно робити, а *чому* кожна вимога є життєво важливою для боротьби з ентропією.

Для перетворення абстрактної моделі на конкретний інструмент пропонується такий діагностичний чек-лист (табл. 3).

Усі запобіжні і захисні заходи у сфері БПЗР працюють за одним і тим самим фундаментальним механізмом: вони накладають на систему обмеження, які зменшують кількість доступних їй мікростанів (W), тим самим знижуючи

Таблиця 1

Терміни для термодинамічної моделі безпеки

Термін термодинаміки	Аналог у сфері БПЗР	Опис у контексті БПЗР
Ізольована система	Виробничий процес без зовнішнього контролю	Система, залишена сама на себе, в якій обладнання зношується, процедури забуваються, а безлад накопичується
Мікростан	Конкретна конфігурація всіх елементів	Точний стан кожного працівника (втома, увага), інструменту (місцезнаходження, справність), матеріалу та процедури в даний момент
Макростан	Загальний спостережуваний результат	«Безпечна робота», «Інцидент», «Травма». Результат, який може бути досягнутий безліччю різних мікростанів
Ентропія (S)	Міра безладу, невизначеності, ризику	Міра кількості способів, якими система може прийти до збою. Висока ентропія = високий безлад, велика кількість прихованих небезпек
Уведення енергії/інформації	Управлінські дії у БПЗР	Навчання, інструктажі, перевірки, технічне обслуговування, впровадження інженерних засобів контролю. Зусилля, спрямовані на зниження ентропії
Стан із низькою ентропією	Безпечний, упорядкований стан	Ідеальний стан: усе на своїх місцях, обладнання справне, працівники навчені та уважні. Малоімовірний, штучно підтримуваний стан
Стан із високою ентропією	Небезпечний, хаотичний стан	Безлад, несправне обладнання, ігнорування правил, втома. Природний стан, до якого система прагне без керуючого впливу

Таблиця 2

Відображення розділів ISO 45001:2018 на негентропійні функції у БПЗР

Розділ ISO 45001	Короткий зміст вимоги	Відповідна ентропійна загроза	Негентропійна функція
4.1, 4.2 Контекст організації Потреби та очікування	Розуміння зовнішніх та внутрішніх чинників, а також вимог працівників та інших зацікавлених сторін	Ізоляція системи, втрата актуальності, ігнорування ключових ризиків та можливостей	<i>Відкриття меж системи</i> Забезпечує проникність меж для імпорту критичної інформації про зовнішнє середовище
5.1 Лідерство та зобов'язання	Вище керівництво демонструє лідерство, бере на себе відповідальність та виділяє ресурси	Системний розпад через брак ресурсів, відсутність напрямку, культурну апатію та низький пріоритет безпеки	<i>Первинний вхід впливу на систему</i> Вливання впорядковуючої енергії (бачення), ресурсів (капітал, час) та повноважень для впливу на всі інші негентропійні процеси
5.4 Консультації та участь працівників	Створення механізмів для залучення працівників до розроблення, планування та функціонування СУБПЗР	Інформаційна пустота, неідентифіковані небезпеки на робочих місцях, опір змінам із боку персоналу	<i>Первинний канал імпорту інформації</i> Відкриває високопропускний канал для отримання критичних, реальних даних із робочого середовища, де виконується робота, зменшуючи невизначеність небезпеки
6.1.2 Ідентифікація небезпек та оцінка ризиків	Проактивне виявлення небезпек та оцінка пов'язаних із ними ризиків для БЗР	Неконтрольоване накопичення прихованих небезпек, раптові збої, нездатність розставити пріоритети	<i>Сканування та структурування невизначеності</i> Активний пошук осередків ентропії та перетворення їх на структуровану інформацію для прийняття рішень
8.1 Операційне планування та контроль	Упровадження та підтримка процесів для усунення небезпек і зниження ризиків (ієрархія контролю)	Хаос у виробничих процесах, висока варіативність дій, непередбачувані та небезпечні результати	<i>Нав'язування порядку</i> Пряме застосування енергії та структури для обмеження ступенів свободи системи і забезпечення її функціонування у безпечних межах
8.2 Готовність до надзвичайних ситуацій та реагування	Планування та підготовка до потенційних аварійних ситуацій	Катастрофічний збій системи через неконтрольоване вивільнення енергії (аварія, пожежа)	<i>Демпфер високоентропійних подій</i> Заздалегідь установлені впорядковані процеси, призначені для поглинання та управління раптовими, масивними впливами хаосу на систему безпеки
9.1 Моніторинг, вимірювання, аналіз та оцінювання	Відстеження результативності СУБПЗР, включаючи відповідність законодавчим вимогам та досягнення цілей	«Сліпота» системи, нездатність бачити деградацію процесів, розрив між планом і фактом	<i>Цикл зворотного зв'язку та самосвідомості</i> Забезпечує систему даними про її власний стан, даючи змогу порівнювати реальність із бажаним станом порядку
10.2 Інциденти, невідповідності та коригувальні дії	Розслідування інцидентів та невідповідностей, визначення першопричин та вжиття заходів для запобігання повторенню	Нездатність навчитися на помилках, повторення одних і тих самих збоїв, накопичення системних дефектів	<i>Механізм системного навчання та адаптації</i> Цикл зворотного зв'язку, який перетворює збій (високоентропійну подію) на нові знання та структуру (негентропію), роблячи систему більш стійкою

її ентропію (S) і роблячи безпечні макростани більш імовірними.

Універсальні компоненти управління безпекою праці і здоров'я на роботі можна переосмислити в термодинамічних термінах, щоб краще зрозуміти їхню фундаментальну роль [27]:

– **Ідентифікація небезпек** – це процес сканування внутрішнього та зовнішнього

середовища з метою виявлення «осередків безладу» та потенціалу для неконтрольованого вивільнення енергії. Це активний імпорт інформації про загрози.

– **Оцінка ризиків** – це процес кількісного визначення невизначеності (інформаційної ентропії), пов'язаної з кожною ідентифікованою небезпекою. Він перетворює розмиті

Таблиця 3

Діагностичний чек-лист для оцінки рівня ентропії безпеки

Ентропійний індикатор (спостережуваний симптом)	Імовірний збій негентропійного процесу	Ключові питання для розслідування	Оцінений рівень ентропії (Н/С/В)
Процедури та інструкції не виконуються або виконуються формально	Відмова <i>Нав'язування порядку</i> (8.1) та/або <i>Первинного входу енергії</i> (5.1)	Чи є процедури практичними, зрозумілими та актуальними? Чи підтримує керівництво їх виконання своїм прикладом та ресурсами?	
Повідомлення про інциденти та нещасні випадки приховуються	Відмова <i>Первинного каналу імпорту інформації</i> (5.4) та <i>Первинного входу енергії</i> (культура)	Чи існує в організації «культура звинувачення»? Чи відчують працівники себе в безпеці, повідомляючи про помилки та проблеми?	
Повторення однотипних інцидентів та невідповідностей	Відмова <i>Механізму системного навчання та адаптації</i> (10.2)	Наскільки глибоко аналізуються першопричини інцидентів? Чи призводять розслідування до реальних, стійких змін у системі?	
Рішення з безпеки приймаються без залучення працівників	Відмова <i>Первинного каналу імпорту інформації</i> (5.4)	Чи існують ефективні та дієві механізми консультацій? Чи враховується думка працівників під час закупівлі нового обладнання, ЗІЗ, зміни процесів?	
Аудити виявляють лише дрібні паперові невідповідності	Відмова <i>Циклу зворотного зв'язку</i> (9.1, 9.2).	Чи зосереджені аудити на реальних ризиках на робочих місцях? Чи мають аудитори достатню компетенцію та незалежність, щоб ставити складні питання?	
На безпеку постійно не вистачає ресурсів (часу, грошей, людей)	Відмова <i>Первинного входу енергії</i> (5.1)	Який реальний, а не декларований, пріоритет безпеки в організації? Чи демонструє вище керівництво свою прихильність безпеці через розподіл ресурсів?	

загрози на структуровані дані для прийняття рішень.

– **Упровадження заходів контролю** – це застосування енергії (у вигляді ресурсів, інженерних рішень, адміністративних процедур) для нав'язування системі порядку та обмежень, що знижують імовірність або наслідки небезпечних подій.

– **Навчання та компетентність** – це процес «завантаження» низькоентропійної інформації (правильних, безпечних методів роботи) в людських агентів системи, що зменшує варіативність та непередбачуваність їхніх дій.

– **Розслідування інцидентів** – це критично важливий цикл зворотного зв'язку, який дає змогу імпортувати надзвичайно цінну інформацію про збої у системі. Цей процес дає змогу системі навчатися та адаптуватися, що є ключовою характеристикою відкритих систем.

Кожна із цих функцій є активним процесом, що вимагає організаційної та інтелектуальної енергії й інших ресурсів для протидії ентропії. Без них система неминуче деградує.

Запропонований підхід – це більше ніж проста метафора («безпека – це як прибирання в кімнаті»), оскільки він використовує специфічну математичну та концептуальну структуру рівняння Больцмана [28]. Однак це не фізичний

«закон» для робочих місць, оскільки він не дає змоги робити кількісні прогнози.

Таким чином, правильний статус цього підходу – це потужна концептуальна модель або пояснювальна аналогія. Її цінність полягає не в прогнозуванні, а в наданні глибокої, уніфікуючої структури для розуміння фундаментальної природи ризику та функції управління безпекою. Визнання цих обмежень не послаблює, а зміцнює модель, визначаючи її справжнє місце. Її евристична цінність полягає у тому, що вона змушує ставити нові питання: «Де джерела ентропії в моїй системі? Де безлад, невідзначеність, прихований потенціал відмови? Яку форму енергії чи інформації мені потрібно застосувати, щоб їх зменшити?» [29].

Визначаючи ризик як приховану ентропію (S), модель за своєю суттю віддає пріоритет запобіжним (проактивним) утручанням, які зменшують W до виникнення збою. Традиційний підхід до безпеки часто фокусується на розслідуванні нещасних випадків *після* того, як вони сталися. Ентропійна модель змушує змістити акцент на управління всіма можливостями, надаючи потужний теоретичний аргумент на користь інвестицій у профілактичне обслуговування, підтримання порядку (тобто виконання вимог системи управління БіОЗП), проєктування з урахуванням безпеки та якісне навчання, оскільки

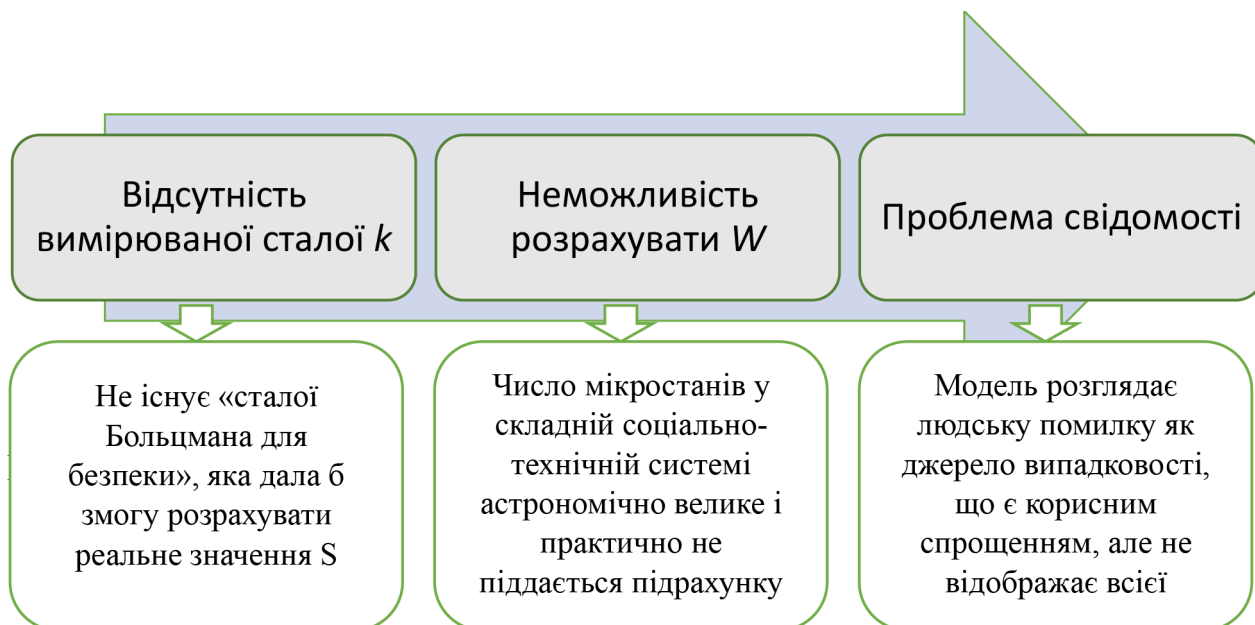


Рис. 3. Ключові обмеження моделі

саме вони є найпотужнішими негентропійними інструментами [30].

Висновки. Установлено, що єдиною дієвою протидією зростання ентропії безпеки і є побудова СУБПЗР за моделлю «відкритої системи», яка функціонує на основі негентропійної енергії, що постійно імпортує енергію лідерства (інтелект та інші ресурси) та інформацію (дані про ризики, зворотний зв'язок) зі свого робочого середовища, щоб створювати відповідні вимоги, виконувати їх і тим самим підтримувати порядок у безпеці.

Запропоновано новий парадигматичний погляд на управління безпекою, тобто метою

є не досягнення ідеального, статичного стану «нульового травматизму», який у складній системі є недосяжним ідеалом.

Розроблено концепцію ентропії безпеки, яка є постійною та фундаментальною загрозою для будь-якої організації через невблаганну природну робочому і соціальному середовищу тенденцію до втрати структури, функціональності та, зрештою, здатності системи управління захищати життя і здоров'я працівників.

Розроблено абстрактну модель для визначення рівня ентропії на основі проведення аудиту відповідно до розробленого діагностичного чек-листа.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Довідник з питань охорони праці : навчальний посібник / авт.-укл. Т. П. Поведа, О. Г. Чорна. Кам'янець-Подільський : Друкарня «Рута, 2021. 116 с.
2. Istudor N., Ursacescu M., Sendroiu C., Radu I. Theoretical Framework of Organizational Intelligence: A Managerial Approach to Promote Renewable Energy in Rural Economies. *Energies* 2016, 9, 639. <https://doi.org/10.3390/en9080639>
3. Hsu L.-C. A hybrid multiple criteria decision-making model for investment decision making. *Journal of Business Economics and Management*, 2014. 15(3). 509–529. DOI: <https://doi.org/10.3846/16111699.2012.722563>
4. Von Bertalanffy, L. General System Theory: Foundations, Development, Applications; George Braziller: New York, NY, USA, 1968.
5. Wang T.-W. From general system theory to total quality management. *J. Am. Acad. Bus. Camb.* 2004, 4, 394–400. [Google Scholar].
6. Rasberry S. D. Entropy in quality systems. *Accredit. Qual. Assur.* 2009, 14, 65–66.
7. Hancock F., Rosas F. E., Mediano P. A., Luppi A. I., Cabral J., Dipasquale O., Turkheimer F. E. May the 4C's be with you: An overview of complexity-inspired frameworks for analysing resting-state neuroimaging data. *J. R. Soc. Interface.* 2022. 19. 20220214. DOI: 10.1098/rsif.2022.0214. DOI: 10.1098/rsif.2022.0214
8. Barouch G., Ponsignon F. The epistemological basis for quality management. *Total Quality Management & Business Excellence.* 2016, 27, 944–962. DOI: 10.1080/14783363.2016.1188659
9. Margolin L. On the Convergence of the Cross-Entropy Method. *Annals of Operations Research.* 2005, 134, 201–214.

10. Jia H., Wang L. Introducing Entropy into Organizational Psychology: An Entropy-Based Proactive Control Model. *Behav Sci (Basel)*. 2024 Jan 15. 14(1). 54. <https://doi.org/10.3390/bs14010054>
11. Hillen M. A., Gutheil C. M., Strout T. D., Smets E. M. A., Han P. K. J. Tolerance of uncertainty: Conceptual analysis, integrative model, and implications for healthcare. *Social Science & Medicine*. 2017. 180. 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.03.024>
12. Fabac R. Complexity in organizations and environment – Adaptive changes and adaptive decision-making. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*. 2010, 8, 34–48.
13. Piantadosi S. T., Tily H., Gibson E. The communicative function of ambiguity in language. *Cognition* 2012, 122, 280–291. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.10.004>
14. Fellingham J., Lin H. Is Accounting an Information Science? *Account. Econ. Law A Conviv.* 2020, 10, 1–17. DOI:10.1515/acl-2016-0026
15. Anupama G., Kesava Rao V. V. S. Some Objective Methods for Determining Relative Importance of Financial Ratios. *International Journal of Management*. 2019, 10, 76–96.
16. Neves A., Godina R., Azevedo S. G., Pimentel C., Matias J. C. O. The potential of industrial symbiosis: Case analysis and main drivers and barriers to its implementation. *Sustainability*. 2019;11:7095. <https://doi.org/10.3390/su11247095>
17. Stephen D. G., Dixon J. A., Isenhowe R. W. Dynamics of representational change: Entropy, action, and cognition. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 2009;35:1811 DOI: 10.1037/a0014510
18. Bondar A., Bushuyev S., Bushuieva V., Onyshchenko S. CEUR Workshop Proceedings. CEUR; Aachen, Germany: 2021. *Complementary Strategic Model for Managing Entropy of the Organization*; pp. 293–302.
19. Bailey K. D. Boundary maintenance in living systems theory and social entropy theory. *Syst. Res. Behav. Sci. Off. J. Int. Fed. Syst. Res.* 2008;25:587–597. DOI: 10.1002/sres.933
20. Kulisiewicz M., Kazienko P., Szymanski B.K., Michalski R. Entropy measures of human communication dynamics. *Sci. Rep.* 2018. 8. 15697. DOI: 10.1038/s41598-018-32571-3
21. Kruglanski A. W., Pierro A., Mannetti L., De Grada E. Groups as epistemic providers: Need for closure and the unfolding of group-centrism. *Psychol. Rev.* 2006. 113. 84. DOI: 10.1037/0033-295X.113.1.84
22. Lollai S. A. Quality Systems. A Thermodynamics-Related Interpretive Model. *Entropy* 2017, 19, 418 <https://doi.org/10.3390/e19080418>
23. Clausius R. The Mechanical Theory of Heat; *Macmillan and Co.*: London, UK, 1879.
24. Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів із дисципліни «Фізична та колоїдна хімія» за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальності 162 «Біотехнологія та біоінженерія» / уклад. В. С. Проценко. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2022. 44 с.
25. Lollai S.A. Quality Systems. A Thermodynamics-Related Interpretive Model. *Entropy* 2017, 19, 418. <https://doi.org/10.3390/e19080418>
26. Tiezzi E. B. P., Pulselli R. M., Marchettini N., Tiezzi E. Dissipative structures in nature and human systems. In: Brebbia C. A., editor. *Design & Nature IV: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*. WitPress; Boston, MA, USA: 2008. pp. 93–300.
27. Смерічевський С. Ф., Клімова О.. Business model canvas як універсальна концепція управління бізнесом компанії. *Інвестиції: практика та досвід*. 2017. № 9. С. 11–14.
28. Гордевський В. Д., Гукалов О. О. Нескінченно модальні наближені розв'язки рівняння Больцмана. *Український математичний журнал*. 2017. Т. 69. № 3. С. 311–323.
29. Abad-Segura E., González-Zamar M.-D., Squillante M. Examining the Research on Business Information-Entropy Correlation in the Accounting Process of Organizations. *Entropy* 2021, 23, 1493. <https://doi.org/10.3390/e23111493>
30. Rényi A. Proceedings of the Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: *Contributions to the Theory of Statistics*. Volume 4. University of California Press; Oakland, CA, USA: 1961. On measures of entropy and information; pp. 547–562.

REFERENCES:

1. Dovidnyk z pytan okhorony pratsi: navchalnyi posibnyk / avt.-ukl.: T. P. Poveda, O. H. Chorna. – Kamianets-Podilskyi : TOV. “Drukarnia “Ruta”, 2021. 116 s. [in Ukrainian].
2. Istudor, N., Ursacescu, M., Sendroiu, C., & Radu, I. (2016). Theoretical Framework of Organizational Intelligence: A Managerial Approach to Promote Renewable Energy in Rural Economies. *Energies*. 9, 639. <https://doi.org/10.3390/en9080639>

3. Hsu, L.-C. (2014). A hybrid multiple criteria decision-making model for investment decision making. *Journal of Business Economics and Management*, 15(3), 509–529. DOI: <https://doi.org/10.3846/16111699.2012.722563>
4. Von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*; George Braziller: New York, NY, USA.
5. Wang, T.-W. (2004). From general system theory to total quality management. *J. Am. Acad. Bus. Camb.* 4, 394–400. [Google Scholar].
6. Rasberry, S. D. (2009). Entropy in quality systems. *Accredit. Qual. Assur.* 14, 65–66.
7. Hancock, F., Rosas, F. E., Mediano, P. A., Luppi, A. I., Cabral, J., Dipasquale, O., & Turkheimer, F. E. (2022). May the 4C's be with you: An overview of complexity-inspired frameworks for analysing resting-state neuroimaging data. *J. R. Soc. Interface.* 19:20220214. doi: 10.1098/rsif.2022.0214. DOI: 10.1098/rsif.2022.0214
8. Barouch, G., & Ponsignon, F. The epistemological basis for quality management. *Total Quality Management & Business Excellence.* 2016, 27, 944–962. DOI: 10.1080/14783363.2016.1188659
9. Margolin, L. (2005). On the Convergence of the Cross-Entropy Method. *Annals of Operations Research.* 134, 201–214.
10. Jia, H., Wang, L. (2024). Introducing Entropy into Organizational Psychology: An Entropy-Based Proactive Control Model. *Behav Sci (Basel).* Jan 15. 14(1). 54. <https://doi.org/10.3390/bs14010054>
11. Hillen, M. A., Gutheil, C. M., Strout, T. D., Smets, E. M. A., & Han, P. K. J. (2017). Tolerance of uncertainty: Conceptual analysis, integrative model, and implications for healthcare. *Social Science & Medicine.* 180. 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.03.024>
12. Fabac, R. (2010). Complexity in organizations and environment – Adaptive changes and adaptive decision-making. *Interdisciplinary Description of Complex Systems.* 8, 34–48.
13. Piantadosi, S. T., Tily, H., Gibson, E. (2012). The communicative function of ambiguity in language. *Cognition.* 122, 280–291. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.10.004>
14. Fellingham, J., & Lin, H. (2020). Is Accounting an Information Science? *Account. Econ. Law A Conviv.* 10, 1–17. DOI: 10.1515/acl-2016-0026
15. Anupama, G., & Kesava Rao, V. V. S. (2019). Some Objective Methods for Determining Relative Importance of Financial Ratios. *International Journal of Management.* 10, 76–96.
16. Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., Pimentel, C., & Matias, J. C. O. (2019). The potential of industrial symbiosis: Case analysis and main drivers and barriers to its implementation. *Sustainability.* 11. 7095. <https://doi.org/10.3390/su11247095>
17. Stephen, D. G., Dixon, J. A., & Isenhowe, R. W. (2009). Dynamics of representational change: Entropy, action, and cognition. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 35. 1811. DOI: 10.1037/a0014510
18. Bondar, A., Bushuyev, S., Bushuieva, V., & Onyshchenko, S. (2021). *CEUR Workshop Proceedings. CEUR; Aachen, Germany: Complementary Strategic Model for Managing Entropy of the Organization*; pp. 293–302.
19. Bailey, K. D. (2008). Boundary maintenance in living systems theory and social entropy theory. *Syst. Res. Behav. Sci. Off. J. Int. Fed. Syst. Res.* 25. 587–597. DOI: 10.1002/sres.933
20. Kulisiewicz, M., Kazienko, P., Szymanski, B.K., & Michalski, R. (2018). Entropy measures of human communication dynamics. *Sci. Rep.* 8. 15697. DOI: 10.1038/s41598-018-32571-3
21. Kruglanski, A. W., Pierro, A., Mannetti, L., & De Grada, E. (2006). Groups as epistemic providers: Need for closure and the unfolding of group-centrism. *Psychol. Rev.* 113. 84. DOI: 10.1037/0033-295X.113.1.84
22. Lollai, S. A. (2017). Quality Systems. A Thermodynamics-Related Interpretive Model. *Entropy.* 19, 418. <https://doi.org/10.3390/e19080418>
23. Clausius, R. (1879). *The Mechanical Theory of Heat*; Macmillan and Co.: London, UK.
24. Protsenko, V. S. (2022). *Metodychni vказivky z orhanizatsii samostiinoi roboty studentiv z dystsypliny "Fizychna ta koloidna khimiia" za osvithnim rivnem "Bakalavr" dlia studentiv spetsialnosti 162 "Biotekhnolohiia ta bioinzheneriia"* [Methodical guidelines for students' independent work in the discipline "Physical and Colloidal Chemistry" for Bachelor's degree in 162 "Biotechnology and Bioengineering"]. Dnipro : DVNZ UDKhTU. [in Ukrainian].
25. Lollai, S. A. (2017). Quality systems. A thermodynamics-related interpretive model. *Entropy,* 19(418). <https://doi.org/10.3390/e19080418>
26. Tiezzi, E. B. P., Pulselli, R. M., Marchettini, N., & Tiezzi, E. (2008). Dissipative structures in nature and human systems. In C. A. Brebbia (Ed.), *Design & Nature IV: Comparing Design in Nature with Science and Engineering* (pp. 93–300). Boston, MA: WitPress.

27. Smerichevskiy, S. F., & Klimova, O. I. (2017). Business model canvas yak universalna kontseptsiiia upravlinnia biznesom kompanii [Business model canvas as a universal business management concept]. *Investytsii: praktyka ta dosvid – Investments: Practice and Experience*, (9), 11–14. [in Ukrainian].
28. Hordevskiy, V. D., & Hukalov, O. O. (2017). Neskinchenno-modalni nablyzheni rozviazky rivniannia Boltzmana [Infinitely modal approximate solutions to the Boltzmann equation]. *Ukrainskyi matematychnyi zhurnal – Ukrainian Mathematical Journal*, 69(3), 311–323. [in Ukrainian].
29. Abad-Segura, E., González-Zamar, M.-D., & Squillante, M. (2021). Examining the research on business information-entropy correlation in the accounting process of organizations. *Entropy*, 23(1493). <https://doi.org/10.3390/e23111493>
30. Rényi, A. (1961). On measures of entropy and information. In *Proceedings of the Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Contributions to the Theory of Statistics* (Vol. 4, pp. 547–562). Oakland, CA: University of California Press.