

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКУ ТРАВМУВАННЯ НА ВИРОБНИЦТВІ

К. Н. Ткачук, докт. техн. наук (НТУУ «КПІ»), О. Г. Левченко, докт. техн. наук (ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України)

Выполнен анализ путей минимизации риска травмирования на производстве с использованием общесистемных закономерностей эффективного функционирования организационных систем. Определены основные принципы профилактики производственного травматизма.

Methods to minimize injure risk at work using the system-wide regularities of the effective operation the organizational systems are analyzed. Basic principles of prevention of industrial injuries are defined.

Однією з теоретичних проблем профілактики виробничого травматизму є проблема недосконалості або навіть відсутності чіткого та цілісного уявлення про те, що собою має являти процес попередження виробничої травми. На які особливості та явища необхідно звертати увагу при організації безпечної взаємодії людини з технікою, якою повинна бути ефективна система захисту персоналу на виробництві? Численні публікації на тему профілактики виробничого травматизму, велика кількість нормативно-правових та нормативних документів відображають окремі аспекти цієї проблеми, однак цілісної картини або теорії безпеки праці на сьогодні ще не створено.

Метою статті є проведення дослідження проблем мінімізації ризику травмування на виробництві з використанням положень теорії систем для формування системного уявлення про профілактику виробничого травматизму.

Відомо, що методи теорії систем або, як їх називають частіше, методи системного аналізу застосовуються для розв'язання трьох основних груп завдань. Перша – це аналіз процесів, явищ, різноманітних природних, технічних, соціальних, економічних систем шляхом розкладання їх на елементарні складові, дослідження взаємодії елементів системи, виявлення проблем та протиріч, властивих досліджуваній системі та визначення у загальному вигляді шляхів удосконалення системи. Друга група завдань, що розв'язується з використанням системного підходу – це синтез (створення нових систем), тобто обернена задача. В окрему третю групу виділяються завдання, пов'язані з забезпеченням ефективного функціонування систем, які розв'язуються з використанням загальносистемних закономірностей, що розробляються загальною теорією систем [1–9].

Проблема мінімізації ризику виробничого травматизму має ставити завдання ефективного функціонування системи захисту персоналу від травм (системи травмобезпеки), тому для обґрунтування способів мінімізації ризику в таких системах доцільно застосувати загальносистемні закони і закономірності. Це дозволить визначити умови успішного функціонування систем травмо-

безпеки і, виходячи з цього, встановити, що і як потрібно робити для реалізації цих умов на практиці.

Як показано у праці [1], є різні погляди на характер загальносистемних законів і закономірностей. Найбільш повно ці закони і закономірності описані у монографії [1]. Тому за базу для досліджень проблем мінімізації ризику травмування на виробництві прийнято саме їх. При формулюванні закономірностей застосовуються поняття ентропії та негентропії.

В системному аналізі прийнято, що ентропія – це кількісна міра безладдя (неорганізованості) в системі, а негентропія – кількісна міра впорядкованості, організованості системи [1]. Виходячи з цих понять, в теорії систем сформульовано основний принцип, на базі якого можуть ефективно функціонувати системи, в тому числі й організаційні. Це – принцип компенсації ентропії та закономірність ентропійної рівноваги.

Суть принципу полягає в тому, що ентропія неізолюваної системи може бути зменшена тоді, коли система взаємодіє з іншою системою чи системами таким чином, що в процесі взаємодії відбувається компенсування збільшення ентропії цих інших систем [1, с. 164]. Ентропія ізолюваної системи зростатиме або, у крайньому випадку, залишатиметься постійною. Якщо ізолювана система складається з частин чи підсистем, то зменшення ентропії в одній з них обов'язково приведе до збільшення ентропії в іншій частині або в оточуючому середовищі [1]. Тобто принцип компенсації ентропії вказує один з шляхів зменшення безпорядку, неорганізованості в системі, що нас цікавить, за допомогою відведення зайвої ентропії в зовнішнє середовище чи в інші системи. Прикладами цього в охороні праці є передача матеріальної відповідальності за наслідки нещасних випадків на виробництві окремій системі страхування і передача повноважень з планування профілактики виробничого травматизму та професійної захворюваності найманим працівникам через систему колективних договорів. Іншим шляхом компенсації ентропії в системі є введення в систему негентропії, тобто інформації, знання, організованості [1].

На базі наведеного принципу формуються загальносистемні закони та закономірності, зокрема закономірність ентропійної рівноваги, яка вказує на те, що в будь-якій системі присутні і ентропія, і негентропія, які постійно змінюються і прагнуть до певної динамічної рівноваги. Прогресивний розвиток системи характеризується швидшим зростанням негентропії, ніж ентропії, деструктивний навпаки – більш інтенсивним зростанням ентропії.

На кожному етапі розвитку системи ентропія і негентропія перебувають у стані динамічної рівноваги між порядком і безладдям, між організованістю і дезорганізованістю [1]. Для зміни цієї рівноваги у бажаному напрямку може застосовуватися прийом підвищення рівня відкритості системи. Крім того, на практиці необхідно виявляти зони підвищеної імовірності виникнення процесів руйнування та деградації і штучно зменшувати в них ентропію.

Для системи захисту персоналу від виробничого травматизму наведені вище загальні міркування можна деталізувати таким чином. Оскільки закономірність ентропійної рівноваги вказує на те, що у будь-якій системі присутня ентропія, то вона є і в системі захисту виробничого персоналу від

травм і цілком її компенсувати надзвичайно складно. Результатом дії ентропії є виробничий травматизм, тобто підтверджується об'єктивна закономірність наявності на виробництві ненульового ризику. Стан системи захисту від травматизму залежить від величини ентропії в системі та тенденцій її змін. Кожному стану рівноваги ентропії та негентропії у цій системі відповідає свій рівень ризику. Тобто, у перспективі критерії припустимого ризику можуть бути розраховані за значеннями ентропії системи. Для підвищення рівня захисту персоналу необхідно зменшувати ентропію системи захисту або вищими темпами збільшувати негентропію. Для підвищення внутрішньої організації або упорядкованості системи захисту необхідно якимось способом посилити зовнішній вплив на неї, тобто зробити її більш відкритою (менш ізольованою).

Закономірність гармонійної рівноваги (правило „золотої пропорції“). Визначення умов або стану стійкої рівноваги системи (її ефективного функціонування) – одна з найважливіших проблем загальної теорії систем, що має безпосереднє відношення до практичної діяльності людини [1, с. 165]. Одним з шляхів розв'язання цієї проблеми є застосування правила „золотої пропорції” [1]. Суть цього положення полягає в наступному. Системи у природі, в економіці, у суспільстві рухаються до стану гармонійної рівноваги, коли вільна енергія утворення систем прямує до мінімального значення, а відношення між рекурсивними елементами – до „золотої пропорції”. Зокрема, відомо, що в економіці розподіл ресурсів нарівно є неефективним. Найбільшу ефективність забезпечує розподіл за правилом «золотої пропорції» ($1/3 = 0,33$ і $2/3 = 0,66$) [81].

На відміну від першої закономірності, яка стосується в основному умов стійкого функціонування системи і характеризує взаємодію її з зовнішнім середовищем, закономірність гармонійної рівноваги відноситься до внутрішнього стану системи. Еволюції системи відповідають складні зміни між двома протилежностями – порядком і безладдям. Збільшення організованості, упорядкованості системи обумовлено збільшенням порядку за одними певними параметрами системи і зменшенням безладдя (дезорганізованості) за іншими параметрами, а не шляхом загального переходу від безладдя до порядку, чи навпаки, за всіма параметрами системи. Рівновага між безладдям і порядком у цілому за всіма параметрами системи припускає їх нерівність для окремих частин і окремих параметрів. Наприклад, у системі захисту персоналу від виробничого травматизму співвідношення між порядком (організованістю) та безпорядком (неорганізованістю) має дорівнювати чи прямувати до правила «золотої пропорції»: $2/3$ порядку, організованості; $1/3$ – безпорядку, неорганізованості. Звідси можна сформулювати принцип права вибору в профілактиці виробничого середовища, принцип багатоваріантності досягнення цілей системи безпеки праці та свобода вибору рішень у першу чергу для тієї третини, що стосується безпорядку.

Закономірність залежності потенціалу системи від характеру взаємодії її структурних елементів чи ступеня організованості системи. Не викликає сумніву, що потенціал складної системи залежить від того, наскільки цілеспрямованою, взаємоузгодженою і раціонально організованою є сама система, її структура. Для характеристики цього застосовується ще одна

важлива загальносистемна закономірність, що визначає залежність потенціалу системи від ступеня її організованості і характеру взаємодії структурних елементів у системі.

З цієї об'єктивної закономірності випливає, що якщо взаємодії структурних елементів (a_1, a_2, \dots, a_n) системи A цілеспрямовані і взаємоузгоджені, то систему слід вважати добре організованою. Чим вищі цілеспрямованість і взаємоузгодженість дій елементів, тим більша організованість системи. В організованій системі потенціал P системи A багаторазово перевищує суму потенціалів усіх складових елементів (підсистем) [1]:

$$P(A) \gg [P(a_1) + P(a_2) + \dots + P(a_n)]. \quad (1)$$

У нейтральних системах (псевдосистемах), де ступінь організованості не забезпечує ефективної і погодженої взаємодії елементів, потенціал системи дорівнює сумі потенціалів елементів.

У погано організованій системі, коли взаємодія елементів носить випадковий або хаотичний характер, потенціал системи дорівнює середньому значенню потенціалу для одного елемента:

$$P(A) = [P(a_1) + P(a_2) + \dots + P(a_n)] / n. \quad (2)$$

У погано організованій системі, точніше, у псевдосистемі, коли взаємодія елементів носить антагоністичний характер і кожен елемент системи протидіє всім іншим, потенціал системи менший, ніж потенціал найслабкішого елемента системи, а ентропія системи, навпаки, більша від ентропії найслабкішого елемента системи:

$$P(A) \ll \min [P(a_1), P(a_2), \dots, P(a_n)]. \quad (3)$$

З цього випливає, що для стійкого та ефективного функціонування систем захисту персоналу від виробничого травматизму необхідно добиватися такої цілеспрямованості системи та взаємоузгодженості дій її елементів, яка б забезпечувала добру організацію системи і створювала умови повної реалізації потенціалів кожного елемента системи. Виходячи з цього, одним із завдань профілактики виробничого травматизму має бути завдання забезпечення цілеспрямованості та взаємоузгодженості профілактичних заходів і засобів з охорони праці.

Фонова загальносистемна закономірність. Фонова закономірність полягає у можливості впливу сигналу чи фону оточуючого середовища на стан досліджуваної системи. Тобто, досліджуючи фон або характеристики зовнішнього по відношенню до досліджуваної системи середовища, можна певним чином оцінити стан такої системи. Стосовно профілактики виробничого травматизму ця закономірність вказує не лише на те, що стан системи захисту від виробничого травматизму залежить від фону, тобто від стану оточуючого середовища, особливо від певних його характеристик, а й від уміння виявити, інтерпретувати та застосувати ці особливі характеристики зовнішнього

середовища для коригування завдань профілактики. Тому, виходячи із фонові загальносистемної закономірності, можна стверджувати, що одним із завдань управління процесами мінімізації ризику травмування на виробництві має бути завдання урахування зв'язаності стану безпеки праці та попереджувальних заходів і засобів з охорони праці зі станом зовнішнього середовища.

Закономірність причинно-наслідкових зв'язків у системі. Виявлення та узагальнення причинно-наслідкових зв'язків, характерних для тієї чи іншої системи і для процесів, що в ній відбуваються, є одним з важелів цілеспрямованого впливу на систему. Тому ця закономірність є однією з найбільш уживаних у практиці управління системами. Для систем захисту від виробничого травматизму вивчення причинно-наслідкових зв'язків є однією з головних умов ефективного впливу на них. Виходячи з цього, можна сформулювати ще одне завдання, яке має розв'язуватися при мінімізації ризиків – завдання обов'язкового урахування причинності при виборі профілактичних заходів та засобів з охорони праці.

Коливальний і циклічний характер функціонування систем, що приводять до їхнього об'єднання і розпаду. Багато процесів, явищ, подій реального світу перебувають у коливальному стані з періодичними циклами [1]. Такий закономірний коливальний і циклічний процес розвитку систем з безперервним переходом з одного стану в інший відбувається постійно. У системах захисту персоналу від травмування на виробництві також відбуваються коливальні та циклічні рухи під дією зовнішнього середовища, централізованих управлінських дій, внутрішніх причин. Уміння передбачати такі зміни і відповідним чином реагувати на них (зменшувати негативні наслідки) – одна з умов стійкого та ефективного функціонування таких систем. Звідси одним із завдань профілактики має бути завдання обов'язкового урахування впливу можливих коливальних та циклічних змін стану системи захисту при змінах умов її функціонування.

Ступінчастий характер розвитку систем. Чим на вищій ступінь переходить система, тим більш стійкою вона стає до зовнішніх збурень. Тому кожна система поступово прагне піднятися на більш високий ступінь розвитку. Коли система вичерпує резерв свого розвитку, тоді на її базі на наступному щаблі розвитку утвориться нова, більш складна система, що буде більш стійкою до зовнішніх збурень. Потім ця нова система знову вичерпує резерв свого розвитку, і на її основі, на наступному щаблі, формується наступна, нова, ще більш складна і більш стійка система [1]. Тобто для забезпечення стійкого та ефективного розвитку систем необхідно забезпечувати поступальний рух систем у напрямку їх прогресу. Це дозволяє сформулювати ще одну задачу профілактики виробничого травматизму, для розв'язання якої необхідно постійно підвищувати безпеку праці та виробничого середовища.

Загальносистемна закономірність, що полягає в збереженні рівноваги за рахунок протидії зовнішнім впливам. Принцип стійкості гомеостатичної системи або закономірність, що виражається в прагненні зберегти рівновагу із зовнішнім середовищем, сформулював А. Л. Ле Шательє: „Якщо на рівновагу системи діє зовнішнє середовище, яке змінює яку-небудь з умов рівноваги, то в

системі виникають процеси, спрямовані на те, щоб протидіяти цим змінам” [1]. Тобто при зовнішньому збуренні, що порушує умови рівноваги, в системі розвиваються протилежно діючі процеси і до певного рівня збурення нейтралізують ефект зовнішнього впливу. Для систем організаційного характеру, до яких відноситься й система захисту від травмування, ця закономірність допускає деякі межі саморегулювання при небажаній для системи дії зовнішніх чинників. Це стосується, зокрема, різного роду нових економічних санкцій, проти яких система діє шляхом приховування фактів, за які мають застосовуватися ці санкції. З позицій мінімізації ризиків необхідно ураховувати цю закономірність або можливість саморегулювання системи захисту шляхом надання цьому процесу позитивної спрямованості. Тобто саморегулювання має забезпечувати зниження рівнів травматизму, а не приховування його. Прийнятним способом для цього може бути більш широке залучення в управління охороною праці найманих працівників та їх об'єднань.

Закономірність «найслабкіших місць» чи «принцип найменших». Важливо знайти зв'язок між стійкістю всієї системи і стійкістю всіх її окремих складових частин (підсистем). Цей зв'язок визначається в такий спосіб: у будь-який момент стійкість усієї системи залежить від підсистем чи елементів, які чинять найменший опір, або найслабкіших місць у системі. Інакше кажучи, «де тонко, там і рветься» [1]. Цю закономірність прийнято розглядати також як „принцип найменших”. Відповідно до цього принципу у будь-який момент часу стійкість найслабкішої ланки системи визначає стійкість всієї системи. Для систем захисту від виробничого травматизму ця закономірність має надзвичайно важливе значення, оскільки з її допомогою можна оцінювати пріоритети небезпек.

Різниця темпів життєвих функцій елементів системи. У системах одним з видів системоутворюючих відносин є узгодженість темпів життєвих функцій елементів системи. Без такої узгодженості система може з часом втратити цілісність та здатність виконувати свої функції.

Справді, багато систем мають свій звичний ритм, порушення якого породжує сигнал тривоги. Системна розбіжність чи неузгодженість означає поступове збільшення розходження між елементами системи, їхню диференціацію [1]. З часом неузгодженість елементів системи може стати настільки великою, а частини цілого виявляються настільки різними, що почнуть розходитися за темпами життя, за силою опору зовнішньому середовищу, що приведе до дезорганізації всієї системи, а потім і до її руйнування. Тобто для забезпечення стійкого стану рівноваги в системі має забезпечуватися нейтралізація системних розходжень шляхом організації спеціально підібраних додаткових зв'язків. У системах захисту від виробничого травматизму ця закономірність проявляється як у динаміці (різні етапи життєвого циклу засобів та засобів захисту), так і в статичності (неузгодженість дій персоналу). Урахування цієї загальносистемної закономірності для завдань мінімізації ризиків травмування на виробництві має здійснюватися двома шляхами. Перший – при ідентифікації та оцінюванні ризиків необхідно звертати увагу на етапи життєвого циклу заходів і засобів захисту та

забезпечити їх узгодженість. Другий – підбір персоналу має виконуватися так, щоб працівники доповнювали один одного (з позицій застосування безпечних прийомів роботи). Звідси ще один принцип мінімізації ризиків травмування на виробництві – обов'язкове виявлення та нейтралізація неузгодженостей підсистем і елементів системи захисту.

Закономірність переходу системи з одного якісного стану в інший з мінімальним впливом у критичній точці фазового переходу. Кризовий стан системи можна розглядати як різновид фазового переходу системи з одного якісного стану в інший зі своєю критичною точкою, в якій для такого переходу достатньо невеликого (мінімального) впливу на систему.

Результати системних досліджень показують [1], що економічні кризи галузі, регіону, країни також є свого роду різновидом фазового переходу зі своєю критичною точкою, і якщо в цей момент у систему ввести „ядро кристалізації”, тобто невеликі інвестиції, то малими зусиллями можна швидко одержати істотний економічний ефект. Така аналогія правомірна для систем різного типу виходячи з загальної теорії систем і теорії управління [1].

Для систем захисту від виробничого травматизму ця закономірність цікава тим, що при обґрунтуванні заходів та засобів профілактичного характеру можливі рішення, які забезпечать значну віддачу від невеликих за обсягом вкладень. Необхідно лише виявити ”критичні точки” системи та підібрати способи і момент впливу на них.

Закономірність проходження всіх етапів еволюційного розвитку або закономірність еволюції системи. Ця закономірність вказує на те, що система, яка розвивається, для досягнення гармонії в ході свого індивідуального розвитку повинна обов'язково пройти власний еволюційний шлях, включаючи всі його етапи. Не можна ні в економіці, ні в екології, ні в соціальних сферах робити «великий стрибок» і пропускати одну чи кілька еволюційних стадій. Правда, тривалість кожного еволюційного етапу можна штучно сповільнити чи прискорити, але «перестрибувати» через якийсь з етапів розвитку недоцільно.

Для систем захисту від виробничого травматизму ця закономірність підказує, що недоцільно сліпо копіювати досвід промислово розвинених країн, які знаходяться на іншому етапі розвитку. Критичний аналіз цього досвіду та прискорення проходження етапів розвитку охорони праці, які необхідні для еволюційного розвитку, забезпечить більший ефект, ніж перенесення чужого досвіду та норм і правил з охорони праці. Тому для мінімізації ризиків виробничого травматизму має застосовуватися принцип еволюційного розвитку систем захисту персоналу без перескакування тих чи інших етапів розвитку.

Таким чином, аналіз основних загальносистемних закономірностей функціонування систем дозволив упевнитися в тому, що профілактика виробничого травматизму також підпорядковується таким закономірностям. Для підвищення ефективності функціонування систем захисту персоналу від виробничих травм необхідно враховувати системні закономірності.

Перспективним напрямком теоретичних досліджень проблем мінімізації ризику травмування на виробництві є розвиток детальних досліджень кожної або принаймні основних з наведених вище закономірностей з доведенням

результатів досліджень до математичних моделей або алгоритмів аналітичних розрахунків.

1. *Прагниташвили И. В., Пащенко Ф. Ф., Бусыгин Б. П.* Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе. – М.: Наука, 2001. – 525 с.
2. *Проблемы планирования и управления: опыт системных исследований* / Под ред. Е. П. Голубкова, А. М. Жандарова. – М.: Экономист, 1987. – 208 с.
3. *Черняк Ю. И.* Системный анализ в управлении экономикой. – М.: Экономика, 1975. – 191 с.
4. *Шеннон И. Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
5. *Браун Дэвид Б.* Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности: (Системный подход к технике безопасности) / Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979. – 360 с.
6. *Валуев С. А., Волкова В. Н., Гладов А. П. и др.* Системный анализ в экономике и организации производства. – М.: Политехника, 1991. – 398 с.