

Обмеження застосування методів каузального моделювання в судовій гірничотехнічній експертизі та шляхи їх подолання

Іван Пугач ^{*а}, Юрій Чеберячко ^{**б}, Вадим Харченко ^{***с}, Інна Пугач ^{****д}

* Канд. техн. наук, доц., Дніпропетровський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр, м. Дніпро, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9836-7753>, e-mail: pugachivan@ukr.net

** Д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7307-1553>, e-mail: cheberiachko.yu.i@nmu.one

*** Судовий експерт, не є працівником державної спеціалізованої установи, м. Кам'янське, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-0345-9116>, e-mail: vadimexpert36@gmail.com

**** Судовий експерт, не є працівником державної спеціалізованої установи, м. Дніпро, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-0302-9198>, e-mail: innagalaxy1970@gmail.com

^а Написання оригінального рукопису, адміністрування проекту.

^б Написання оригінального рукопису, методологія.

^с Написання оригінального рукопису, концептуалізація.

^д Написання оригінального рукопису, формальний аналіз.

DOI: 10.32353/khrife.2.2026.09

УДК 343.98:622.8

Надійшло 20.03.2026 / Рецензовано 31.03.2026 / Прийнято до друку 24.06.2026 /
Доступно онлайн 30.06.2026



Окреслено наукову проблему методичного розриву між сучасними каузальними моделями аналізу складних аварійних подій і процесуальними вимогами судової гірничотехнічної експертизи, у межах якої експерт зобов'язаний спиратися лише на надані матеріали, свою компетенцію та процедури обґрунтування, що піддаються перевірці. Мета дослідження — обґрунтувати межі застосування сучасних іноземних моделей каузального аналізу в національній судовій гірничотехнічній експертизі й розробити фазово-модульну декомпозицію як компенсаторний процесуально-методичний механізм реконструкції складних аварій. Методи дослідження охоплюють теоретичний аналіз українських та іноземних джерел, нормативно-процесуальне тлумачення ролі та меж компетенції

судового експерта, логіко-структурне моделювання причинних¹ зв'язків, фазово-модульну декомпозицію аварійної події та практичну апробацію підходу на двох знеособлених кейсах із реальної експертної практики. Показано, що STAMP/CAST, SCM, каузальні графи, контрфактуальні й інші системні моделі мають значну евристичну цінність, проте їх пряме перенесення у сферу судово-експертного дослідження обмежено ретроспективним характером судової гірничотехнічної експертизи, дефіцитом матеріалів кримінального провадження, вимогами до відтворюваності висновку та заборонаю компенсувати доказові прогалини ймовірними припущеннями. Доведено, що фазово-модульна декомпозиція дає змогу локалізувати причинність у технічно однорідних фрагментах події, установлювати доказову основу для кожного модуля, процесуально коректно реагувати на нестачу вихідних даних і формувати логічний, прозорий висновок експерта. Підтверджено придатність підходу для аналізу подій на відкритих і підземних гірничих роботах за допомогою практичної апробації.

Ключові слова: судова гірничотехнічна експертиза; причинно-наслідковий зв'язок; каузальний аналіз; фазово-модульна декомпозиція; гірничо-аварія; висновок експерта; кримінальне провадження.

Постановка наукової проблеми

Судова гірничотехнічна експертиза (далі — СГТЕ) посідає особливе місце в системі інженерно-технічних судових експертиз, оскільки поєднує високий рівень галузевої спеціалізації з підвищеними вимогами до доказової сили висновку експерта. Її предметна сфера охоплює події, що трапляються у складних умовах гірничої промисловості й підземного середовища, де технічні, організаційні та природні чинники формують багаторівневий причинний ланцюг. У таких справах суд і орган до-

судового розслідування потребують не загального опису небезпечної ситуації, а чіткого письмового висновку експерта щодо технічного причинно-наслідкового зв'язку між конкретними діями або бездіяльністю та їх наслідками. Це зумовлює складність і практичну значущість експертного дослідження.

Теоретичний аспект цієї проблеми полягає у відсутності належно адаптованої моделі пояснення складних аварійних подій для потреб СГТЕ. У світовій науці останніми роками активно розвиваються системні та каузальні підходи до аналізу інцидентів, зокрема *Systems-Theoretic Accident Model and*

1 У сучасній українській мові прикметник «причинний» доцільніше застосовувати на означення психічних розладів, божевілля. Для спричинених чимось або кимось результатів (наслідків) слід послуговуватися прикметником «причиновий» і похідними від нього. Натомість чинні нормативно-правові акти, на жаль, до сьогодні містять помилкові слововформи, тож у цій праці ми змушені оперувати саме ними.— *Ред.*

Processes (STAMP)², Causal Analysis based on STAMP (CAST), каузальні графи, контрфактуальні моделі, а також структурні каузальні моделі (англ. *structural causal models*, SCM)³. Ці підходи продемонстрували високу евристичну цінність у дослідженнях складних соціотехнічних систем та аналізі безпеки процесів, цивільній та морській інженерії, оцінюванні стійкості систем та аварій. Проте пряме запозичення їх для потреб СГТЕ є проблематичним, оскільки їх створювали переважно для інженерії безпеки, менеджменту ризиків і превентивного аналізу, тоді як судова експертиза має ретроспективний характер, здійснюється за вимогами кримінального процесуального законодавства та завершується письмовим висновком із чітко визначеним предметом доказування. Отже, між сучасними моделями причинного аналізу складних подій і реальними умовами роботи судового гірничотехнічного експерта існує теоретична невідповідність.

Практичний аспект проблеми є ще гострішим, оскільки судовий експерт здійснює не вільне дослідницьке моделювання, а процесуально регламентоване експертне дослідження. Він не має права самостійно конструювати відсутні фактичні дані, компенсувати доказові прогалини ймовірнісними припущеннями або спиратися на непрозорі аналітичні процедури, які неможливо належно перевірити в межах судового

розгляду. Інструментарій експерта має відповідати матеріалам кримінального провадження, межах компетенції й вимогам до змісту висновку. У разі недостатності вихідних даних експерт подає клопотання про надання додаткових матеріалів, а за їх відсутності — обмежує висновок фактично встановленими обставинами або формалізує неможливість вирішення відповідного питання. Саме тому для СГТЕ неприйнятне пряме запозичення моделей, що припускають застосування ймовірнісних реконструкцій, латентних змінних або складного обчислювального апарату для заповнення дефіциту доказової інформації. У цьому полягає одна з головних науково-практичних суперечностей: потреба в сучасному причинному мисленні є очевидною, однак форма його реалізації має залишатися процесуально сумісною та методично придатною до практичного застосування в реальній експертній практиці.

Зв'язок окресленої проблеми з науково-практичними інтересами полягає в необхідності створення такої моделі експертного аналізу, яка забезпечувала б адекватне дослідження складних багаточинникових гірничих аварій, не виводячи судового експерта за межі його процесуальної ролі й затвердженого методичного інструментарію. Отже, ідеться не про заміну національних експертних методик іноземними системними моделями, а про розроблення

- 2 Zhang Y., Dong Ch., Guo W., et al. Systems theoretic accident model and process (STAMP): A literature review. *Safety Science*. 2022. Vol. 152. DOI: [10.1016/j.ssci.2021.105596](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105596) (дата звернення: 20.03.2026) ; Hulme A., Stanton N. A., Walker G. H., et al. Are accident analysis methods fit for purpose? Testing the criterion-referenced concurrent validity of AcciMap, STAMP-CAST and AcciNet. *Ibid*. 2021. Vol. 144. DOI: [10.1016/j.ssci.2021.105454](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105454) (дата звернення: 20.03.2026).
- 3 Bongers S., Forré P., Peters J., Mooij J. M. Foundations of structural causal models with cycles and latent variables. *The Annals of Statistics*. 2021. Vol. 49. Is. 5. Pp. 2885–2915. DOI: [10.1214/21-AOS2064](https://doi.org/10.1214/21-AOS2064) (дата звернення: 20.03.2026) ; Naser M. Z. Causality and causal inference for engineers: Beyond correlation, regression, prediction and artificial intelligence. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*. 2024. Vol. 14. Is. 4. DOI: [10.1002/widm.1533](https://doi.org/10.1002/widm.1533) (дата звернення: 20.03.2026).

підходу, що давав би змогу застосувати пізнавальний потенціал сучасної теорії причинності у формі, сумісній з практикою судової експертизи. Така постановка питання має наукове і прикладне значення, оскільки передбачає переосмислення меж адаптації сучасних каузальних концепцій до судово-експертного знання та створює підґрунтя для підвищення точності, послідовності й доказової сили висновків у справах про аварії в гірничій промисловості.

Науково-практичне завдання, з яким безпосередньо пов'язане це дослідження, полягає у формуванні теоретичного підґрунтя нової методики СГТЕ, здатної забезпечити структурований аналіз причинно-наслідкових зв'язків у складних аварійних ситуаціях. Така методика має поєднувати теоретичні засади дослідження, алгоритми дій експерта, інструменти аналізу причинно-наслідкових зв'язків і практичні підходи до розв'язання експертних завдань. Її головне призначення полягає в підвищенні об'єктивності й достовірності висновків експерта та уніфікації алгоритмів дослідження складних надзвичайних подій у гірничій справі. Статтю спрямовано на розроблення концептуального підходу, який може стати підґрунтям майбутньої офіційної методики СГТЕ.

Актуальність дослідження зумовлена зростанням складності аварійних подій у гірничій галузі й відсутністю цілісної моделі, яка поєднувала б сучасне каузальне мислення з вимогами кримінального процесу, експертної методики та меж компетенції судового експерта. За таких умов судова практика потребує

логічно прозорого висновку експерта, придатного до належного процесуального оцінювання. Саме ця методологічна прогалина і є науковою проблемою, яка полягає в невідповідності сучасних підходів до причинно-наслідкового аналізу складних техногенних подій можливостям чинного методичного інструментарію СГТЕ з дослідження багаточинникових аварій у межах кримінального судочинства.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Проблематика, якій присвячено цю статтю, перебуває на перетині трьох дослідницьких напрямів: загальної теорії судової експертизи, кримінально-правового та кримінально-процесуального вчення про причинний зв'язок і сучасних міждисциплінарних підходів до аналізу складних аварій у соціотехнічних системах. Саме тому огляд джерел доцільно вибудовувати як послідовне виявлення того, що вже зроблено за кожним із цих напрямів і якої саме ланки бракує для потреб СГТЕ. У національній літературі достатньо ґрунтовно розроблено загальнотеоретичні аспекти предмета судової експертизи, статусу висновку експерта та його оцінювання в судовому провадженні. Зокрема, М. Щербаковський і А. Проценко висвітлюють проблеми проведення експертиз у судовому процесі⁴, а А. Музика та С. Багіров — теоретичні труднощі визначення причинності в кримінальному праві⁵. Водночас аналіз національних публікацій свідчить, що вони зосереджені

4 Щербаковський М. Г., Проценко А. М. Експертизи в судовому провадженні : монографія. Харків, 2024. 280 с. URI: <https://dspace.univd.edu.ua/handle/123456789/24257> (дата звернення: 20.03.2026).

5 Музика А. А., Багіров С. Р. Каузальність і кримінальний закон в аспекті правового прагматизму: монографія. Київ, 2023. 143 с. URI: <https://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/25290> (дата звернення: 20.03.2026).

переважно на загальнотеоретичних питаннях судової експертизи, кримінально-правових аспектах причинного зв'язку або процесуальних питаннях доказового статусу висновку експерта. До сьогодні не сформовано спеціалізованого методичного підходу, який поєднував би теорію причинного зв'язку з практикою СГТЕ у справах про багаточинникові аварії. Отже, українська наукова думка вже виробила належні положення щодо сутності причинного зв'язку, місця висновку експерта в доказуванні й загальних вимог до експертного дослідження, проте ще не запропонувала повноцінного алгоритму встановлення технічного причинно-наслідкового зв'язку у складних гірничих інцидентах за умов процесуальних обмежень, неповноти матеріалів і складної взаємодії причинно значущих чинників. Саме цей аспект становить проблемне поле дослідження.

В іноземній науковій літературі домінує інтенсивний розвиток системних моделей аналізу аварій і сучасного каузального мислення в інженерії. Окремі праці присвячено емпіричній перевірці валідності й надійності таких підходів. Зокрема, A. Hulme і співавтори показали, що AcciMap, STAMP-CAST і AcciNet демонструють лише помірні показники валідності, а їх здатність адекватно відтворювати каузальну структуру

аварійних подій залишається предметом дискусії⁶. У подальшій роботі цих самих авторів, зосередженій на оцінюванні надійності, визначено, що для всіх трьох підходів характерна слабка або помірна позитивна узгодженість, до того ж STAMP-CAST вирізняється вищою міжекспертною надійністю⁷. Дослідження O. F. Hamim і співавторів засвідчило переваги комбінованого застосування системних методів для розкриття багаторівневої каузальності⁸. Отже, значення цих робіт полягає не лише в розробленні нових схем аналізу, а й в емпіричному тестуванні їх дієвості та меж застосування.

Другий потужний пласт літератури пов'язаний з розвитком власне STAMP-парадигми та її галузевих модифікацій. У літературному огляді A. Zhang зі співавторами систематизовано еволюцію STAMP, STPA й CAST і показано, що ця група підходів дедалі активніше інтегрується з аналізом людських і організаційних чинників, а також з кількісними процедурами оцінювання⁹. B. O. Ceylan і співавтори демонструють розвиток STAMP-підходу в напрямі кількісного аналізу складних інженерних систем, що відображає загальну тенденцію до формалізації каузальних взаємодій у сучасних дослідженнях аварій¹⁰. Аналогічний напрям репрезентують H. Ebrahimi та співавтори, які поєднують

- 6 Hulme A., Stanton N. A., Walker G. H., et al. Are accident analysis methods fit for purpose? DOI: [10.1016/j.ssci.2021.105454](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105454) (дата звернення: 20.03.2026).
- 7 Ibidem. Testing the reliability of accident analysis methods: A comparison of AcciMap, STAMP-CAST and AcciNet. *Ergonomics*. 2024. Vol. 67. Is. 5. Pp. 695–715. DOI: [10.1080/00140139.2023.2240048](https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2240048) (дата звернення: 20.03.2026).
- 8 Hamim O. F., Hasanat-E-Rabbi Sh., Debnath M., et al. Taking a mixed-methods approach to collision investigation: AcciMap, STAMP-CAST and PCM. *Applied Ergonomics*. 2022. Apr: 100:103650. DOI: [10.1016/j.apergo.2021.103650](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103650) (дата звернення: 20.03.2026).
- 9 Zhang Y., Dong C., Guo W., et al. Op. cit. DOI: [10.1016/j.ssci.2021.105596](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105596) (дата звернення: 20.03.2026).
- 10 Ceylan B. O., Karatug Ç., Akyuz E., et al. A system theory (STAMP) based quantitative accident analysis model for complex engineering systems. *Safety Science*. 2023. Vol. 166. DOI: [10.1016/j.ssci.2023.106232](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106232) (дата звернення: 20.03.2026).

ють STAMP з методом *fuzzy DEMATEL* для побудови кількісної мапи каузальних впливів, а H. Sun, H. Wang, M. Yang і G. Reniers розвивають STAMP-орієнтований підхід до кількісного оцінювання стійкості хімічних процесних систем¹¹. Разом ці праці свідчать, що міжнародна школа системного аналізу аварій послідовно рухається в напрямі дедалі глибшої формалізації каузальних взаємодій. Для інженерії безпеки це закономірний напрям розвитку, проте саме тут перед судовою експертизою постає фундаментальне питання про межі адаптації таких моделей до процесуальної форми висновку експерта.

Третій блок іноземних праць формує теоретичне підґрунтя сучасного каузального мислення в інженерії. У фундаментальній праці S. Bongers зі співавторами показано, що у випадку циклічних залежностей і латентних змінних багато характеристик класичних ациклічних каузальних моделей не зберігаються автоматично й потребують спеціальних умов розв'язання¹². J. P. Long і співавтори досліджують оцінювання каузальних ефектів за умов приховано-

го конфаундингу із застосуванням інструментальних змінних та інваріантності середовищ¹³. M. Z. Naser у статті *Causality and causal inference for engineers: Beyond correlation, regression, prediction and artificial intelligence* обґрунтовує необхідність виходу інженерного мислення за межі кореляції, регресії, прогнозування та штучного інтелекту в бік більш строгого причинного аналізу; у співавторстві з A. Teymori Gharah Tapeh він також демонструє застосовність каузального відкриття, контрфактуального аналізу й каузального машинного навчання до кейсів у галузі цивільної інженерії¹⁴. Стислий, але важливий огляд сучасних тенденцій у причинно-наслідковому аналізі пропонують N. Mitra і співавтори, тоді як M. Soohoo й O. A. Arah показують, як саме часово-змінний неконтрольований конфаундинг спотворює оцінювання каузальних ефектів¹⁵. Усі ці праці мають принципове значення для формування сучасної мови причинного аналізу, проте водночас виявляють і межу їх прямого запозичення судовою експертизою: більшість із них розрахована на користування статистичними,

- 11 Ebrahimi H., Zarei E., Ansari M., et al. A system theory based accident analysis model: STAMP-fuzzy DEMATEL. *Safety Science*. 2024. Vol. 173. DOI: [10.1016/j.ssci.2024.106445](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106445) (дата звернення: 20.03.2026) ; Sun H., Wang H., Yang M., Reniers G. A STAMP-based approach to quantitative resilience assessment of chemical process systems. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022. Vol. 222. DOI: [10.1016/j.res.2022.108397](https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108397) (дата звернення: 20.03.2026).
- 12 Bongers S., Forré P., Peters J., Mooij J. M. Op. cit. DOI: [10.1214/21-AOS2064](https://doi.org/10.1214/21-AOS2064) (дата звернення: 20.03.2026).
- 13 Long J. P., Zhu H., Do K.-A., Ha M. J. Estimating causal effects with hidden confounding using instrumental variables and environments. *Electronic Journal of Statistics*. 2023. Vol. 17. Is. 2. Pp. 2849–2879. DOI: [10.1214/23-EJS2160](https://doi.org/10.1214/23-EJS2160) (дата звернення: 20.03.2026).
- 14 Naser M. Z. Causality and causal inference for engineers DOI: [10.1002/widm.1533](https://doi.org/10.1002/widm.1533) (дата звернення: 20.03.2026) ; Naser M. Z., Teymori Gharah Tapeh A. Causality, causal discovery, causal inference and counterfactuals in Civil Engineering: Causal machine learning and case studies for knowledge discovery. *Computers and Concrete*. 2023. Vol. 31. No. 4. Pp. 277–292. DOI: [10.12989/cac.2023.31.4.277](https://doi.org/10.12989/cac.2023.31.4.277) (дата звернення: 20.03.2026).
- 15 Mitra N., Roy J., Small D. The Future of Causal Inference. *American Journal of Epidemiology*. 2022. Art. 191(10):1671-1676. DOI: [10.1093/aje/kwac108](https://doi.org/10.1093/aje/kwac108) (дата звернення: 20.03.2026) ; Soohoo M., Arah O. A. Investigation of the structure and magnitude of time-varying uncontrolled confounding in simulated cohort data analyzed using g-computation. *International Journal of Epidemiology*. 2023. Art. 52(6):1907-1913. DOI: [10.1093/ije/dyad150](https://doi.org/10.1093/ije/dyad150) (дата звернення: 20.03.2026).

обчислювальними, експериментальними або квазіекспериментальними процедурами, які не є типовим інструментарієм гірничотехнічного експерта.

Окрему групу становлять праці, у яких системні й каузальні підходи адаптовано до конкретних галузей і типів інцидентів. Так, J. M. Fagundes і співавтори поєднують CAST із TRACER для аналізу людських помилок у виробничій аварії; Sh. Zhong, J. Du та X. Jiang застосовують STAMP/STPA до аналізу системи безпеки в енергетичній лабораторії; A. J. Nakhal Akel і співавтори будують STAMP-орієнтовану модель аналізу безпеки в промислових установках¹⁶. Водночас F. Zhang із колегами інтегрують STPA з багаторівневим потоковим моделюванням для виявлення кіберфізичних небезпек у процесній індустрії, а J. Ge та співавтори розвивають системно-теоретичну концепцію причинності аварій і метод SAAMWS для складних виробничих систем¹⁷. Особливе значення для теми цієї статті має праця J. Dong і співавторів, у якій STAMP застосовано

безпосередньо для аналізу механізму аварій у вугільних шахтах¹⁸. До цього галузевого пласта органічно додається оглядове дослідження L. Cruz-Ausejo зі співавторами, які узагальнюють результати досліджень виробничого травматизму поміж працівників гірничодобувної галузі за останні тринадцять років і окреслює типові організаційні, виробничі й індивідуальні чинники, релевантні також для експертного реконструювання гірничих подій¹⁹. Зазначені вище праці дають змогу дійти двох висновків: по-перше, системне каузальне мислення давно вийшло за межі абстрактної теорії й активно застосовується в прикладних секторах; по-друге, навіть у галузях, найближчих до теми цієї статті, воно переважно орієнтоване на управління безпекою, превентивну діагностику або вдосконалення систем, а не на формування письмового висновку експерта, процесуально придатного для суду.

Отже, аналіз останніх досліджень і публікацій дає змогу виокремити

- 16 Fagundes J. M., Gaya de Figueiredo M. A., Alberton A. L., et al. Analysis of accidents through combination of CAST and TRACER techniques: A case study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2022. Vol. 74. Art. 104639. DOI: [10.1016/j.jlp.2021.104639](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104639) (дата звернення: 20.03.2026) ; Zhong Sh., Du J., Jiang X. Analysis of Energy Laboratory Safety Management in China Based on the System-Theoretic Accident Model and Processes/System Theoretic Process Analysis STAMP/STPA Model. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. No. 15. DOI: [10.3390/su151511505](https://doi.org/10.3390/su151511505) (дата звернення: 20.03.2026) ; Nakhal Akel A. J., Patriarca R., Tronci M., et al. A STAMP Model for Safety Analysis in Industrial Plants. *Chemical Engineering Transactions*. 2022. Vol. 91. Pp. 403–408. DOI: [10.3303/CET2291068](https://doi.org/10.3303/CET2291068) (дата звернення: 20.03.2026).
- 17 Zhang F., Chen L., Zhang B., et al. An integrated system theoretic process analysis with multi-level flow modeling for the identification of cyber-physical hazards in a process industry. *Process Safety Progress*. 2024. Vol. 43. Is. 3. Pp. 587–596. DOI: [10.1002/prs.12604](https://doi.org/10.1002/prs.12604) (дата звернення: 20.03.2026) ; Ge J., Zhang Yu., Xu K., et al. A new accident causation theory based on systems thinking and its systemic accident analysis method of work systems. *Process Safety and Environmental Protection*. 2022. Vol. 158. Pp. 644–660. DOI: [10.1016/j.psep.2021.12.036](https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.036) (дата звернення: 20.03.2026).
- 18 Dong J., Gao Z., Liu T., et al. Analysis of the Causative Mechanism of Coal Mine Safety Accidents Based on STAMP Model. *Journal of Mining Engineering and Safety Technology*. 2022. Vol. 1. Is. 1. DOI: [10.23977/jmest.2022.020101](https://doi.org/10.23977/jmest.2022.020101) (дата звернення: 20.03.2026).
- 19 Cruz-Ausejo L., Cama-Ttito N. A., Solano P. F., et al. Occupational accidents in mining workers: Scoping review of studies published in the last 13 years. *BMJ Open*. 2024. Vol. 14. Is. 10. DOI: [10.1136/bmjopen-2023-080572](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-080572) (дата звернення: 20.03.2026).

кілька стійких тенденцій. Українська наука переконливо розробила загальні питання предмета судової експертизи, доказового значення висновку експерта і кримінально-правової природи причинного зв'язку, проте не запропонувала повноцінної галузевої моделі для дослідження багаточинникових гірничих аварій. Іноземна наука, навпаки, сформувала розвинений арсенал системних і каузальних моделей аналізу складних інцидентів, проте ці моделі створювали переважно для інженерії безпеки, системного аналізу ризиків, оцінювання стійкості систем і післяаварійного організаційного навчання, а не для процесуально регламентованого судово-експертного дослідження. Отже, між українською процесуально-експертною традицією та міжнародною системно-каузальною школою існує методична невідповідність. Її подолання полягає не в механічному перенесенні *STAMP/CAST*, *SCM* або *DAG* у практику СГТЕ, а в розробленні підходу, який дав би змогу застосувати їхній логічний потенціал у процесуально сумісній формі. Саме із цього постає необхідність фазово-модульної декомпозиції як теоретичного підґрунтя нової методики СГТЕ.

Мета статті

Теоретично обґрунтувати межі застосування сучасних іноземних моделей каузального аналізу в національній СГТЕ й розробити компенсаторний процесуально-методичний механізм — фазово-модульну декомпозицію складної аварійної події.

Системні й каузальні підходи, сформовані в межах інженерії безпеки, можна застосувати в СГТЕ лише після їх логічної адаптації до ретроспективного характеру експертного дослідження, вимог кримінального процесуального

законодавства України, меж компетенції судового експерта й обов'язкової опори на матеріали кримінального провадження й чинні методики. На відміну від попередніх досліджень, у статті зосереджено увагу не на загальній характеристиці причинного зв'язку або описі системних моделей як таких, а на формуванні спеціалізованого судово-експертного підходу, у межах якого визначають поняття процесуально сумісного причинного аналізу, фазово-модульної декомпозиції та модуля події як базових елементів методики СГТЕ.

Методи дослідження

Для досягнення поставленої мети та розв'язання окреслених науково-практичних завдань застосовано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, що відповідають предмету дослідження. Системно-структурний підхід сприяв критичному аналізу сучасних моделей причинності й виявленню меж їх пізнавальної та практичної придатності в судовій гірничотехнічній експертизі. Метод нормативно-процесуального аналізу допоміг визначити межі компетенції судового експерта й вимоги до доказової основи та форми висновку експерта відповідно до чинного кримінального процесуального законодавства України. Основою для розроблення алгоритму фазово-модульної декомпозиції стали методи логічного моделювання і дедуктивного висновку, які дали змогу структурувати багаточинникові аварійні події. Для перевірки практичної придатності та процесуальної сумісності запропонованого підходу застосовано метод апробації на матеріалах двох знеособлених експертних проваджень з реальної практики: щодо виробничої події на відкритих гірничих роботах і групового інциденту в підземних умовах. Зазначені методи

забезпечили комплексне обґрунтування запропонованого теоретико-методично-го інструментарію.

Викладення основного матеріалу дослідження

Запропонований у статті підхід не обмежується ані критикою сучасних каузальних моделей, ані їх оглядовим зіставленням. Його зміст полягає в розв'язанні конкретного науково-практичного завдання: як зберегти пізнавальну цінність сучасного причинного мислення, не виходячи за межі компетенції судового експерта, матеріалів кримінального провадження та процесуальних вимог до форми і змісту висновку. У центрі дослідження — не математичний або програмний аспект сучасних моделей причинності, а можливість перетворення їхнього логічного ядра на інструмент ретроспективної реконструкції події, придатний для судово-експертної практики.

У межах запропонованого підходу потребують уточнення кілька базових понять. *Процесуально сумісний причинний аналіз* у цій статті — це спосіб реконструкції події, що ґрунтується лише на матеріалах кримінального провадження, не підміняє доказових прогалин імовірнісними конструкціями й завершується письмовим висновком експерта, придатним до процесуальної оцінки. *Фазово-модульна декомпозиція* — це спосіб поділу складної аварійної події на порівняно ізольовані в часі, просторі та механізмі розвитку події фрагменти. *Модуль події* — причинно завершений вузол аварійного процесу, у межах якого можна визначити локальний технічний причинно-наслідковий зв'язок без утрати процесуальної визначеності.

Практична придатність окреслених положень залежить від їх сумісності з реальними умовами судово-експертного дослідження. Саме тому далі слід визначити процесуальні й методичні обмеження прямого перенесення сучасних каузальних моделей у сферу СГТЕ.

Каузальне моделювання в сучасному науковому дискурсі формує мову опису причинності за допомогою причинних схем, контрфактуальних конструкцій і правил відмежування причинного зв'язку від звичайної асоціації. Проте СГТЕ належить до іншого класу завдань, аніж інженерні розслідування безпечового профілю: її здійснюють у межах процесуально регламентованого дослідження, обмежують матеріалами кримінального провадження та спрямовують на ретроспективне встановлення технічної причини й технічного причинно-наслідкового зв'язку між діями або бездіяльністю та їхніми наслідками.

Процесуальна форма висновку експерта — один із первинних бар'єрів для прямого запозичення сучасних каузальних моделей у СГТЕ. Відповідно до ст. 102 Кримінального процесуального кодексу України (далі — *КПК України*), у висновку експерта мають бути відображені, зокрема, опис отриманих матеріалів, докладний опис проведених досліджень, застосованих методів, отриманих результатів та їх експертна оцінка, а також обґрунтовані відповіді на кожне поставлене питання²⁰. За такої умови метод має бути не лише науково коректним, а й процесуально відтворюваним: можна простежити, якими матеріалами послуговувалися, які дослідницькі дії виконано, які результати одержано та як їх оцінив експерт. Це підвищує вимоги до аргументації та обмежує включення до висновку кон-

20 Кримінальний процесуальний кодекс України від 13.04.2012 р. № 4651-VI (зі змін. та допов.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17#Text> (дата звернення: 20.03.2026).

струкцій, не пов'язаних прозоро з матеріалами кримінального провадження.

Другий бар'єр пов'язаний із суворою прив'язкою експертного дослідження до матеріалів кримінального провадження та процесуального алгоритму дій за умови їх недостатності. Відповідно до ч. 3 ст. 69 КПК України, експерт має право заявляти клопотання про надання додаткових матеріалів і зразків, а також про вчинення інших дій, пов'язаних з проведенням експертизи²¹. У разі нестачі критично значущих відомостей, належною відповіддю є не компенсація доказових прогалин припущеннями, а застосування процесуального механізму вимоги додаткових матеріалів. Якщо їх не надано, експерт обмежує висновок фактично встановленими обставинами або зазначає неможливість вирішення відповідного питання в межах наданої доказової бази.

Третій бар'єр пов'язаний із функційною несумісністю мети частини іноземних системних підходів із завданнями СГТЕ. В іноземній науковій літературі *STAMP/CAST*, *AcciMap*, *AcciNet* і їхні модифікації позиціоновано як системні методи аналізу аварій у складних соціотехнічних системах; значна частина їх прикладного призначення пов'язана з розробленням заходів безпеки, виявленням контрольних збоїв на різних рівнях системи та, у ширшому контексті, підтримкою безпекового управління²². Для судової експертизи така постановка методологічно корисна лише частково: вона сприяє структуруванню багаторів-

невих причин і взаємодій, однак виходить за межі предмета судового розгляду там, де ретроспективне визначення технічної причини підмінюють логікою системного вдосконалення або побудовою причинної картини, орієнтованої на управлінські практики поза межами доказування. Унаслідок цього пряме запозичення системних моделей без спеціальної адаптації породжує розбіжності між предметом експертного дослідження та аналітичним горизонтом самої моделі: замість відповіді на питання ініціатора експертизи виникає багаторівневий опис чинників, який може бути змістовним, але процесуально надлишковим або недостатньо співвіднесеним з поставленими питаннями.

Четвертий бар'єр пов'язаний з вимогою надійності та відтворюваності опису причинних чинників у середовищі, де висновок експерта має процесуальну вагу. Навіть у сфері безпекових наук наголошують на необхідності емпіричної перевірки характеристик методів аналізу аварій. Зокрема, визначено, що системні методи аналізу аварій потребують спеціальної перевірки валідності й надійності; в окремих порівняльних дослідженнях отримано результати, які свідчать про обмежену валідність таких методів порівняно з референтним експертним аналізом, а також про необхідність подальших досліджень їх надійності²³. Для судової експертизи ця обставина має особливе значення, оскільки відтворюваність і внутрішня узгодженість висновку є передумовами

21 Кримінальний процесуальний кодекс України ... URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17#Text> (дата звернення: 20.03.2026).

22 Zhang Y., Dong C., Guo W., et al. Op. cit. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105596 (дата звернення: 20.03.2026) ; Hamim O. F., Hasanat-E-Rabbi Sh., Debnath M., et al. Op. cit. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.10365 (дата звернення: 20.03.2026).

23 Hulme A., Stanton N. A., Walker G. H., et al. Are accident analysis methods fit for purpose? ... DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105454 (дата звернення: 20.03.2026) ; Ibidem. Testing the reliability of accident analysis methods ... DOI: 10.1080/00140139.2023.2240048 (дата звернення: 20.03.2026).

довіри до нього та його стійкості до професійної критики.

П'ятий бар'єр пов'язаний з методологічною складністю сучасного апарату причинності, яка сама собою не є недоліком, але потребує уваги під час застосування. Теорія структурних каузальних моделей розвивається в напрямі врахування циклічних взаємодій і латентних змінних, що робить причинні структури реалістичнішими для складних технічних систем, але водночас посилює вимоги до умов коректності, до вихідних припущень і інтерпретації результатів²⁴. Для СГТЕ це означає, що пряме перенесення повного теоретичного апарату в експертну практику не лише недоцільне, а й потенційно ризиковане, оскільки за недостатності вихідних матеріалів воно може створювати ілюзію аналітичної глибини або підміняти доказову логіку процесуально непридатними конструкціями.

Шостий бар'єр пов'язаний з межами компетенції судового експерта й допустимими межами експертного твердження. Експерт діє в межах спеціальних знань і наданих матеріалів, що визначає допустимий рівень узагальнення. Відповідно до ст. 102 КПК України, висновок експерта має містити обґрунтовані відповіді на поставлені питання, а ст. 69 КПК України передбачає право заявляти клопотання про надання додаткових матеріалів²⁵. Саме тому в разі дефіциту матеріалів процесуально коректним є подати клопотання про надання додаткових матеріалів, обмежити висновок фактично встановленими обставинами або повідомити про неможливість надання висновку. Такий підхід забезпечує дотримання

меж компетенції експерта і збереження доказового значення обґрунтованих фрагментів висновку.

Отже, процесуальні бар'єри не заперечують цінності сучасних теорій причинності. Вони лише визначають, що для СГТЕ потрібен компенсаторний механізм, який, по-перше, не виходить за межі спеціальних знань і матеріалів кримінального провадження; по-друге, забезпечує відтворюваність і прозорість експертної логіки; по-третє, перетворює складну багаточинникову подію на послідовність технічних причинних фрагментів, доступних для процесуальної перевірки; і, зрештою, дає змогу формувати обґрунтовані відповіді або мотивовані межі висновку за умови дефіциту даних. Саме сукупність цих вимог зумовлює потребу в процесуально сумісному підході до причинного аналізу.

Окреслені процесуальні й методичні обмеження не заперечують пізнавальної цінності сучасних каузальних моделей, але свідчать про необхідність їх спеціальної адаптації до потреб СГТЕ. Саме тому наступним кроком є обґрунтування такого процесуально сумісного інструментарію, який давав би змогу застосувати логіку багаторівневого причинного аналізу без виходу за межі спеціальних знань, матеріалів кримінального провадження та предмета доказування. У межах цієї статті таким інструментарієм є фазово-модульна декомпозиція складної аварійної події.

Фазово-модульна декомпозиція пропонується як прикладний процесуально-методичний інструментарій, що дає змогу адаптувати логічний кістяк системних підходів до вимог судового доказування без виходу за межі компе-

24 Bongers S., Forré P., Peters J., Mooij J. M. Op. cit. DOI: 10.1214/21-AOS2064 (дата звернення: 20.03.2026).

25 Кримінальний процесуальний кодекс України ... URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17#Text> (дата звернення: 20.03.2026).

тенції та без підміни ретроспективного визначення технічної причини описом профілю ризиків або організаційних удосконалень. Вихідна ідея полягає в тому, що багаточинниковий інцидент у гірничій промисловості слід розглядати не як одиничну подію, а як сукупність технічно різномірних епізодів, кожен з яких має власний причинний механізм, часові межі, просторову локалізацію й документальне відображення. Системні методи аналізу аварій у світовій практиці підкреслюють переваги багаторівневого розгляду причин і комбінування аналітичних меж²⁶, проте в СГТЕ таку багаторівневість слід привести до форми, придатної для надання обґрунтованих відповідей на поставлені питання відповідно до ст. 102 КПК України²⁷.

У процесуальному розумінні фаза — це часовий інтервал розвитку події, у межах якого зберігається порівняна однорідність технічного механізму (зокрема, перехід від нормального режиму до аварійного стану, формування небезпечного стану, його ескалація та реалізація наслідку). Модуль так само є мінімально достатнім технічним фрагментом події, який може бути ізольованим у часі та просторі, має окреслену фактичну основу в матеріалах кримінального провадження і припускає застосування чинних та усталених експертних підходів для виявлення технічної причини і причинно-наслідкового зв'язку в межах конкретного питання. Така побудова не суперечить системному мисленню, навпаки — створює дисциплінований спосіб контрольованого

спрощення, що знижує ризик змішування причин різного рівня: технічних, організаційних і людських — в один нечіткий причинний ланцюг.

Фазово-модульна декомпозиція виконує в СГТЕ щонайменше три взаємопов'язані функції. Перша з них — процесуально коректна локалізація причинності. У складних інцидентах причинно-наслідкові зв'язки часто набувають мережевого характеру. Водночас питання, поставлені експертові, потребують надання конкретної відповіді щодо технічної причини та причинно-наслідкового зв'язку між діями (бездіяльністю) і наслідками. Фазово-модульна декомпозиція дає змогу перетворити таку мережеву конфігурацію на послідовність модулів, кожен з яких можна дослідити як лінійний причинний фрагмент зі збереженням інтеграційної логіки події.

Друга функція — процесуально коректне реагування на дефіцит матеріалів. Якщо в межах певного модуля відсутні критично необхідні документи або відомості, судовий експерт має право заявити клопотання про надання додаткових матеріалів відповідно до ст. 69 КПК України²⁸. Якщо таке клопотання не задоволено або необхідні матеріали відсутні, алгоритм декомпозиції дає змогу обмежити висновок межами відповідного модуля з мотивованим зазначенням причин, не руйнуючи доказового значення інших модулів, у яких фактична основа достатня. Така стратегія узгоджується з вимогами до змісту висновку експерта, зокрема, щодо відображення використаних матеріалів, застосованих

26 Zhang Y., Dong C., Guo W., et al. Op. cit. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105596 (дата звернення: 20.03.2026) ; Hamim O. F., Hasanat-E-Rabbi Sh., Debnath M., et al. Op. cit. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.103650 (дата звернення: 20.03.2026).

27 Кримінальний процесуальний кодекс України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17#Text> (дата звернення: 20.03.2026).

28 Там само.

методів, отриманих результатів і їх оцінювання, а також підтримує принцип обґрунтованості відповідей, закріплений у ст. 102 КПК України²⁹.

Третя функція — уніфікація та забезпечення відтворюваності експертного дослідження. Фазово-модульна декомпозиція формує стандартизований каркас аналізу, який може бути описаний як послідовність операцій, порівняно незалежну від індивідуального стилю експерта. Питання відтворюваності має принципове значення з огляду на те, що навіть у безпекових науках валідність і надійність системних методів аналізу аварій потребують окремої емпіричної перевірки³⁰. Для СГТЕ уніфікація не означає механічності; вона означає наявність такої процедури, яка забезпечує повторюваний і логічно прозорий шлях від матеріалів кримінального провадження за допомогою дослідницьких дій експерта до отриманого результату та його оцінювання експертом.

Процедурно фазово-модульну декомпозицію можна представити як алгоритм ретроспективної реконструкції аварійної події, що охоплює кілька послідовних етапів.

На першому етапі формують формально-процесуальну межу дослідження: фіксують питання, поставлені ініціатором експертизи, установлюють їхній технічний зміст без розширення предмета дослідження, а також визначають коло наданих об'єктів і матеріалів, якими можна скористатись як вихідною основою.

На другому етапі здійснюють первинну реконструкцію хронології події: структурують послідовність подій і ста-

нів з посиланням на відповідні джерела (упорядковують наявні в матеріалах кримінального провадження відомості); нових даних не створюють.

На третьому етапі за хронологією створюють фази розвитку події — часові інтервали, у межах яких зберігається порівняна сталість технічного механізму (наприклад, нормальний режим, формування небезпечного стану, ескалація та реалізація наслідку). Межі фаз потрібно аргументувати посиланнями на матеріали провадження й технічними ознаками зміни механізму розвитку події.

На четвертому етапі в межах кожної фази формують модулі як технічно однорідні фрагменти події. Такими модулями можуть бути, наприклад, фрагменти, пов'язані зі станом кріплення, режимом виконання робіт або контролем і наглядом у конкретний часовий проміжок. Кожен модуль слід описати за його часовими та просторовими межами, переліком необхідних матеріалів кримінального провадження, а також очікуваним результатом дослідження — визначення технічної причини, причинно-наслідкового зв'язку або технічної можливості чи неможливості певних дій у конкретній ситуації в межах поставленого питання.

На п'ятому етапі перевіряють достатність матеріалів для дослідження кожного модуля. Якщо наявної фактичної основи недостатньо для обґрунтованої відповіді, експерт подає клопотання про надання додаткових матеріалів.

На шостому етапі в межах кожного модуля застосовують чинні, атестовані

29 Кримінальний процесуальний кодекс України ... URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17#Text> (дата звернення: 20.03.2026).

30 Hulme A., Stanton N. A., Walker G. H., et al. Are accident analysis methods fit for purpose? ... DOI: [10.1016/j.ssci.2021.105454](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105454) (дата звернення: 20.03.2026) ; Ibidem. Testing the reliability of accident analysis methods ... DOI: [10.1080/00140139.2023.2240048](https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2240048) (дата звернення: 20.03.2026).

експертні методики, придатні для виконання відповідного завдання. Результат дослідження має залишатися процесуально придатним, тобто містити опис використаних матеріалів, проведених дій і застосованих методів, одержані результати, їх оцінку й обґрунтовану відповідь на поставлене питання відповідно до ст. 102 КПК України³¹. У межах модуля можна застосовувати лише аналітичний інструментарій, що спирається на матеріали провадження, спеціальні знання експерта й атестовані методики.

На сьомому етапі модульні результати інтегрують у єдиний причинний висновок за допомогою логічного поєднання встановлених результатів. Якщо певний модуль неможливо встановити через нестачу даних, це відображається як межа висновку.

Отже, фазово-модульна декомпозиція є компенсаторним механізмом, який дає змогу застосувати евристичний потенціал сучасних системних і каузальних концепцій — зокрема, структуроване розмежування багаторівневих причин, виявлення критичних вузлів і запобігання змішуванню причин різного рівня — без виходу за межі процесуальних вимог і без підміни ретроспективного завдання судової експертизи цілями безпекового розслідування. На практиці описаний підхід формує теоретико-методичне підґрунтя для майбутньої офіційної методики СГТЕ, оскільки задає відтворюваний, документований і процесуально придатний алгоритм дій експерта під час дослідження складних багаточинникових аварійних подій.

Практичну придатність запропонованого підходу доцільно перевіряти на матеріалах реальної судово-експертної практики. Із цією метою ми скориста-

лися двома знеособленими кейсами з уже виконаних судових експертиз, які різняться як за типом об'єкта дослідження, так і за характером причинної конфігурації. Перший кейс стосується виробничої події на відкритих гірничих роботах за участю конвеєрного транспорту та роторного комплексу. Другий кейс пов'язаний з груповим інцидентом у підземних умовах, для якого характерний багатоланцюговий механізм розвитку події. Саме порівняння цих двох ситуацій дає змогу продемонструвати, що процесуально сумісний причинний аналіз із застосуванням фазово-модульної декомпозиції придатний як для порівняно локалізованих виробничих подій, так і для складних аварійних сценаріїв з розгалуженою структурою причинно-наслідкових зв'язків.

Прикладна частина дослідження викладена у формі, сумісній з професійним мисленням і реальним інструментарієм судового гірничотехнічного експерта: вихідною основою є тільки матеріали кримінального провадження та надані документи, а за нестачі критично важливих відомостей фіксують процесуально коректну межу відповіді за допомогою подання клопотання про надання додаткових матеріалів або зазначення неможливості вирішити питання у відповідній частині.

Перший кейс стосується події на відкритих гірничих роботах, пов'язаних з експлуатацією конвеєрного транспорту й обладнання роторного комплексу. Подія сталася під час виконання виробничих операцій у зоні дії цього обладнання, а її наслідок — смертельне травмування працівника під час виконання службових обов'язків. Матеріали експертизи містили типовий для гірничої практики комплекс документальних

31 Кримінальний процесуальний кодекс України ... URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17#Text> (дата звернення: 20.03.2026).

джерел з питань організації робіт, охорони праці, експлуатації обладнання та спеціального розслідування події. Водночас частина поставлених питань не могла бути вирішена через відсутність окремих проєктно-технічних і технічних матеріалів, що чітко виявило одну з принципів меж судової експертизи — процесуально коректне фіксування неповноти вихідної фактичної основи.

У межах запропонованого підходу подію декомпонують на фази й модулі, кожен з яких має власні часові та просторові межі, ґрунтується на матеріалах кримінального провадження, стосується вирішення технічного питання та завершується категоричним висновком або чітко окресленою межею його формування.

Першу фазу доцільно визначити як фазу передумов небезпечної ситуації, тобто організаційно-технічне тло події, у межах якого ще не відбулося безпосереднього контакту працівника з небезпечним чинником, але вже сформувалися умови для подальшого розвитку інциденту. У межах цієї фази виокремлюють щонайменше два самостійні модулі. Перший модуль охоплює організацію робіт і допуск до виконання відповідних операцій. У цьому модулі досліджують статус виконуваних робіт як робіт підвищеної безпеки, наявність і зміст письмового наряду, дотримання процедур допуску, проведення інструктажів, а також здійснення контролю з боку інженерно-технічних працівників. Саме результати аналізу цього модуля створюють фактичне підґрунтя для відповіді на питання, чи відповідали організація робіт і порядок допуску працівників вимогам нормативно-технічних документів та локальних актів, чинних у виробничій ситуації.

Другий модуль у межах цієї фази стосується технічного стану обладнан-

ня та наявності інженерних бар'єрів безпеки, зокрема огорожень і блокувальних елементів. Тут перевіряють, чи існували фізичні обмеження доступу до небезпечних зон рухомих частин, чи було забезпечено належне закріплення огорожень, чи фіксували ознаки несправності або неповноти захисних конструкцій, чи здійснювали контроль за їх станом у межах посадових обов'язків відповідальні особи. У цьому модулі принципово важливо показати, що неналежний стан або відсутність огороження слід розглядати не як абстрактний системний недолік, а як конкретну технічну умову, яка створила можливість потрапляння працівника в небезпечну зону та, відповідно, стала одним з причинно значущих елементів подальшого розвитку події.

Друга фаза — формування небезпеки, тобто перехід події до критичного стану. У межах цієї фази виокремлюють модуль, пов'язаний з небезпечним зближенням працівника з рухомими частинами обладнання. Із матеріалів експертизи відомо, що небезпечна ситуація виникла внаслідок перебування людини в зоні дії рухомих частин конвеєра. Саме цей модуль має важливе причинне значення, оскільки в його межах організаційні й технічні передумови трансформуються в конкретний механізм травмувальної дії небезпечного виробничого чинника.

Наступна фаза пов'язана з реалізацією наслідку, тобто з безпосереднім механізмом травмування. У межах цієї фази вирішального значення набуває модуль, у якому механізм травмування розглядають як послідовний технічний ланцюг. Зміст висновку експерта свідчить, що причинно значущими в цій частині є дії або бездіяльність учасників події та відповідальних посадових осіб, пов'язані з допуском або недопуском

працівника до небезпечної зони рухомих частин конвеєра, незабезпеченням належних огорожень і технічних бар'єрів, неналежним контролем робочих місць і технічного стану обладнання, а також із неприпиненням експлуатації обладнання або відповідної його ділянки до усунення небезпеки. У цьому контексті зазначені обставини мають значення не як підстава для формулювання профілактичних рекомендацій, а як елементи ретроспективного технічного аналізу, що дають змогу встановити, які саме дії або бездіяльність створили умови для реалізації механізму травмування.

Практичний результат застосування запропонованого підходу в першому кейсі полягає насамперед у впорядкуванні причинної структури події за допомогою виокремлення модулів, доступних для технічної перевірки, пов'язаних з організацією та допуском до виконання робіт, наявністю інженерних бар'єрів, перебуванням працівника в небезпечній зоні, механізмом травмування, а також контролем і наглядом. Така декомпозиція дає змогу уникнути змішаного пояснення, за якого технічний механізм, організаційне тло й посадові обов'язки зливаються в єдину нерозчленовану пояснювальну конструкцію. Водночас вона дає змогу виокремити безпосередній технічний вузол причинності, у межах якого перебування працівника в небезпечній зоні рухомих частин конвеєра та відсутність або неналежний стан бар'єрних елементів розглядають як конкретну причинно значущу ланку, що поєднує технічні передумови з наслідком.

Важливий результат — процесуальна коректність визначення меж висновку. Ті компоненти події, які неможливо встановити через відсутність необхідних технічних матеріалів, не компенсують припущеннями, а фіксують як

мотивовано окреслену межу відповіді. Такий підхід зберігає доказове значення встановлених фрагментів причинного ланцюга без виходу за межі наданої фактичної основи та спеціальних знань експерта.

Другий кейс стосується групового інциденту, що стався в підземних умовах під час виконання робіт у гірничій виробці. Наслідок події — травмування групи працівників через розвиток вибухонебезпечного процесу. Зміст висновку експерта свідчить, що причинність у цьому випадку реконструюється не як один лінійний ланцюг, а як сукупність кількох паралельних і послідовних причинних ланцюгів, у межах яких кожна ланка одночасно є наслідком попередньої та причиною наступної. У структурі такого аналізу виокремлюють модулі, пов'язані з газовим чинником, станом засобів колективного захисту й контролю, організацією робіт у небезпечній зоні, а також із дотриманням або недотриманням спеціальних вимог безпеки для відповідного виду робіт. Водночас у висновку зазначено, що відсутність або ненадання частини матеріалів, виступаючих за клопотанням експертів, обмежує можливість деталізувати окремі причинні компоненти, що ще раз підтверджує принципову для судової експертизи межу: аналіз причин не може виходити за межі фактичної основи, наданої для дослідження.

Саме наявність кількох причинних ланцюгів у цьому інциденті дає змогу наочно показати переваги фазово-модульної декомпозиції в ситуаціях, де причинну структуру події не можна адекватно відтворити за допомогою одного лінійного пояснення.

У межах фазово-модульної декомпозиції цього інциденту першу фазу доцільно визначити як фазу накопичення умов небезпеки. У її структурі насамперед

виокремлюють модуль, пов'язаний з газовим чинником і провітрюванням, тобто з формуванням вибухонебезпечного середовища. У межах цього модуля встановлюють, що виникнення небезпеки пов'язане з процесами загалування, зокрема з накопиченням газу в привибійному або закріпному просторі, а також із технологічними й організаційними умовами провітрювання. Саме цей модуль має вирішальне значення, оскільки він формує фізичну можливість розвитку вибухонебезпечної події. Другий модуль у межах цієї самої фази стосується стану та користування засобами колективного захисту та контролю. Зміст висновку експерта свідчить про наявність відімкнених або несправних елементів таких засобів, зокрема автоматичних функцій, пов'язаних з убезпеченням експлуатації за перевищення гранично допустимих концентрацій. У причинному сенсі це формує послідовність, за якої небезпечний стан своєчасно не зупинили, не обмежили або не локалізували, що створило умови для подальшого збільшення концентрації.

Окремий етап розвитку події пов'язаний із запуском її механізму. У його межах важливого значення набуває модуль, що стосується джерела ініціювання та подальшого розвитку події як послідовного ланцюга взаємодій. У цьому кейсі причинність описано за допомогою кількох взаємопов'язаних ланцюгів з множинними ланками, що дає змогу розкласти багаточинникову подію на логічно впорядковані складники й визначити не загальну «причину вибуху», а послідовність технічних умов, дій або бездіяльності, які призвели до наслідку.

Завершальна фаза пов'язана з ураженням людей і відображає безпосередній механізм травмування. У її межах вирішального значення набуває модуль,

пов'язаний з перебуванням працівників у забороненій зоні, що розглядають як окремий технічний вузол причинності. Із висновку експерта вбачається, що травмування зумовлене не лише розвитком вибухонебезпечного процесу, а й перебуванням людей у межах зони, де їхня присутність була неприпустимою за умов конкретної виробничої ситуації. До того ж причиною такого перебування визначено недотримання спеціальних правил безпеки для відповідного виду робіт, зокрема відсутність, неузгодженість або невиконання належно оформлених документів, що регламентували межі небезпечної зони, порядок інформування працівників та обмеження доступу до неї. У методичному сенсі саме така побудова дає змогу чітко відмежувати фізичну можливість події, зумовлену газовим чинником і умовами провітрювання, технічну реалізацію події через її ініціювання та розвиток, а також безпосередньо травмування, пов'язане із зоною перебування людей і недостатністю бар'єрів доступу.

Практичне застосування запропонованого підходу в другому кейсі полягає насамперед у розв'язанні проблеми багатоланкової причинної структури події. Замість пошуку однієї «головної причини» фазово-модульна декомпозиція дає змогу формально та структуровано виокремити модулі причинності, зберігаючи категоричність висновків щодо кожної технічно визначеної ланки. Не менш важливим результатом є переведення системної події у процесуально керований формат: навіть за значного обсягу вхідних матеріалів і великої кількості поставлених питань висновок можна будувати як послідовність взаємопов'язаних модульних відповідей, а не як загальний опис події. Водночас матеріали кейсу демонструють і принципово важливий результат — форма-

лізацію меж деталізації. Зафіксоване у висновку обмеження деталізації, зумовлене ненаданням частини матеріалів за клопотанням експертів, підтверджує, що коректний метод не компенсує відсутні дані припущеннями, а фіксує межі можливого висновку.

Узагальнення результатів практичної апробації дає підстави стверджувати, що запропонований підхід не є декларативною теоретичною конструкцією, його можна відтворювано застосовувати до реальних матеріалів судових експертиз за допомогою виокремлення фаз і модулів, локалізації технічного вузла причинності та процесуально коректного реагування на неповноту матеріалів. Така прикладна модель не потребує інструментів, які виходять за межі компетенції судового гірничотехнічного експерта: дослідження здійснюються за допомогою аналізу документів, ретроспективної реконструкції події та зіставлення фактичної ситуації з нормативно визначеними вимогами з формуванням письмової відповіді на поставлені питання та чітким окресленням меж висновку за дефіциту даних.

Висновки

Основна наукова проблема сучасної СГТЕ полягає в невідповідності між зростанням складності багаточинникових аварійних подій та обмеженими можливостями традиційних лінійних схем аналізу для визначення технічної причини і причинно-наслідкового зв'язку в умовах кримінального провадження. Сучасні системні й каузальні моделі, розроблені в іноземній інженерній науці, мають значний евристичний потенціал, проте їх не можна безпосередньо перенести в національну судово-експертну практику без спеціальної методичної адаптації. Перешкода по-

лягає не в науковій цінності цих моделей, а в орієнтуванні значної частини їхнього прикладного інструментарію на превентивний аналіз, системне вдосконалення, імовірнісні реконструкції та аналітичні процедури, несумісні з процесуально визначеним порядком експертного дослідження.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні того, що процесуально сумісний причинний аналіз у СГТЕ слід будувати не на прямому запозиченні *SCM*, *DAG*, *STAMP/CAST* і споріднених моделей у їх первісному вигляді, а на трансформації їхнього логічного ядра в інструмент ретроспективної реконструкції події. Набула подальшого розвитку ідея застосування сучасного каузального мислення не як математично-обчислювального чи програмного апарату, а як способу впорядкування експертного дослідження відповідно до вимог кримінального процесуального законодавства. У цьому контексті фазово-модульну декомпозицію обґрунтовано як компенсаторний процесуально-методичний механізм, що дає змогу поєднати аналітичні переваги сучасних теорій причинності з вимогами відтворюваності, документованості та процесуальної придатності висновку експерта.

Теоретичне значення одержаних результатів полягає в уточненні понятійного апарату й логіки побудови експертного дослідження у справах про складні аварії в гірничій промисловості. Конкретизовано зміст процесуально сумісного причинного аналізу як такого способу реконструкції події, за якого експерт діє тільки в межах наданих матеріалів, не компенсує дефіциту фактичної основи припущеннями, а за потреби користується передбаченими законом процесуальними механізмами витребування додаткових матеріалів або формалізує межі можливої відповіді.

Водночас фазово-модульну декомпозицію розкрито не як описову метафору, а як алгоритм дослідження, що охоплює локалізацію події, виокремлення фаз її розвитку, формування модулів, перевірку достатності матеріалів, застосування чинних атестованих методик у межах кожного модуля та інтеграцію модульних результатів у єдиний причинний висновок. Саме така логіка створює теоретико-методичне підґрунтя для нової методики СГТЕ.

Практичне значення дослідження підтверджено апробацією запропонованого підходу на знеособлених кейсах із реальної експертної практики. Аналіз виробничої події на відкритих гірничих роботах, пов'язаної з конвеєрним транспортом і роторним комплексом, продемонстрував, що фазово-модульна декомпозиція дає змогу чітко відмежувати блок організації робіт і допуску до їх виконання, блок технічного стану захисних бар'єрів, фазу формування небезпечної ситуації та механізм травмування без змішування різних причинних рівнів в одному узагальненому поясненні. Аналіз групового інциденту в підземних умовах засвідчив, що такий самий підхід дає змогу розкласти багатоланцюговий механізм розвитку події на окремі каузальні модулі та зберегти визначеність локальних висновків навіть за неповноти окремих матеріалів. Отже, доведено, що фазово-модульна декомпозиція — не лише теоретична конструкція, а й прикладний інструмент судового експерта для роботи з матеріалами кримінального провадження.

Загалом результати дослідження дають підстави вважати, що перспективним напрямом розвитку СГТЕ є не механічне запозичення готових іноземних моделей, а побудова власної методики на основі процесуально адаптованого причинного аналізу. Запропонований

у статті підхід створює для цього належне підґрунтя, оскільки поєднує наукову обґрунтованість, процесуальну сумісність і прикладну придатність. Саме тому фазово-модульну декомпозицію можна розглядати як базову конструкцію майбутньої офіційної методики СГТЕ, орієнтованої на підвищення об'єктивності, відтворюваності та доказового значення висновків експерта.

Restrictions on Application of Causal Modeling Methods in Forensic Mining and Technical Examination and Ways to their Overcoming

**Ivan Puhach, Yurii Cheberiachko,
Vadym Kharchenko, Inna Puhach**

Scientific issue of methodological gap between modern causal models of analysis of complex accidents and the procedural requirements of forensic mining and technical examination, within the limits of which forensic expert is obliged to rely only on the materials provided, his competence and substantiation procedures that are subject to verification is outlined. The research purpose is to substantiate the limits of application of modern foreign models of causal analysis in national forensic mining and technical examination and to develop phase-modular decomposition as a compensatory procedural and methodological mechanism for the reconstruction of complex accidents. The research methods include theoretical analysis of Ukrainian and foreign sources, normative and procedural interpretation of the role and boundaries of the competence of a forensic expert, logical and structural modeling of causal relationships, phase-modular decomposition of an accident and practical testing of the approach on two impersonal cases from real expert practice. It is shown that STAMP/CAST, SCM, causal graphs, counterfactual and other system models have significant heuristic value, howev-

er, their direct transfer to the field of forensic research is limited by the retrospective nature of forensic mining expertise, the scarcity of criminal proceedings materials, the requirements for the reproducibility of the conclusion and the prohibition to compensate for evidentiary gaps with probable assumptions. It is proven that phase-modular decomposition makes it possible to localize causality in technically homogeneous fragments of the event, establish an evidentiary basis for each module, procedurally correctly respond to the lack of initial data and form a logical, transparent expert conclusion. The suitability of the approach for analyzing events in open-pit and underground mining operations is confirmed by practical testing.

Keywords: forensic mining and technical examination; causal relationship; causal analysis; phase-module decomposition; mining accident; expert conclusion; criminal proceedings.

Фінансування

Це дослідження не отримало жодного спеціального гранту від фінансових установ у державному, комерційному або некомерційному секторах.

Відмова від відповідальності

Засновники не грали жодної ролі у розробленні дослідження, добиранні й аналізуванні даних, рішенні про публікацію або підготовку рукопису.

Учасники

Автори зробили свій внесок винятково в інтелектуальну дискусію, що є основою цього документа, дослідження судової практики, написання та редагування, і беруть на себе відповідальність за її зміст і тлумачення.

Декларація щодо конфлікту інтересів

Автори заявляють, що у них відсутній конфлікт інтересів.

References

- Bongers, S., Forré, P., Peters, J., Mooij, J. M. (2021). Foundations of structural causal models with cycles and latent variables. *The Annals of Statistics*. Vol. 49. Is. 5. DOI: [10.1214/21-aos2064](https://doi.org/10.1214/21-aos2064).
- Ceylan, B. O., Karatuğ, Ç., Akyuz, E., et al. (2023). A system theory (STAMP) based quantitative accident analysis model for complex engineering systems. *Safety Science*. Vol. 166. DOI: [10.1016/j.ssci.2023.106232](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106232).
- Cruz-Ausejo, L., Cama-Ttito, N. A., Solano P. F., et al. (2024). Occupational accidents in mining workers: Scoping review of studies published in the last 13 years. *BMJ Open*. Vol. 14. Is. 10. DOI: [10.1136/bmjopen-2023-080572](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-080572).
- Dong, J., Gao, Z., Liu, T., et al. (2022). Analysis of the Causative Mechanism of Coal Mine Safety Accidents Based on STAMP Model. *Journal of Mining Engineering and Safety Technology*. Vol. 1. Is. 1. DOI: [10.23977/jmest.2022.020101](https://doi.org/10.23977/jmest.2022.020101).
- Ebrahimi, H., Zarei, E., Ansari, M., et al. (2024). A system theory-based accident analysis model: STAMP-fuzzy DEMATEL. *Safety Science*. Vol. 173. DOI: [10.1016/j.ssci.2024.106445](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106445).
- Fagundes, J. M., Gaya de Figueiredo, M. A., Alberton, A. L., et al. (2022). Analysis of accidents through combination of CAST and TRACER techniques: A case study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 74. Art. 104639. DOI: [10.1016/j.jlp.2021.104639](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104639).
- Ge, J., Zhang, Y., Xu, K., et al. (2022). A new accident causation theory based on systems thinking and its systemic accident analysis method of work systems. *Process Safety and Environmental Protection*. Vol. 158. DOI: [10.1016/j.psep.2021.12.036](https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.036).
- Hamim, O. F., Hasanat-E-Rabbi, Sh., Debnath, M., et al. (2022). Taking a mixed-methods approach to collision investigation: AcciMap, STAMP-CAST and PCM. *Applied Ergonomics*. Apr: 100:103650. DOI: [10.1016/j.apergo.2021.103650](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103650).
- Hulme, A., Stanton, N. A., Walker, G. H., et al. (2021). Are accident analysis methods fit for purpose? Testing the criterion-referenced concurrent validity of AcciMap,

- STAMP-CAST and AcciNet. *Safety Science*. Vol. 144. DOI: [10.1016/j.ssci.2021.105454](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105454).
- Hulme, A., Stanton, N. A., Walker, G. H., et al. (2024). Testing the reliability of accident analysis methods: A comparison of AcciMap, STAMP-CAST and AcciNet. *Ergonomics*. Vol. 67. Is. 5. DOI: [10.1080/00140139.2023.2240048](https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2240048).
- Long, J. P., Zhu, H., Do, K. A., Ha, M. J. (2023). Estimating causal effects with hidden confounding using instrumental variables and environments. *Electronic Journal of Statistics*. Vol. 17. Is. 2. DOI: [10.1214/23-ejs2160](https://doi.org/10.1214/23-ejs2160).
- Mitra, N., Roy, J., Small, D. (2022). The Future of Causal Inference. *American Journal of Epidemiology*. Art. 191(10):1671-1676. DOI: [10.1093/aje/kwac108](https://doi.org/10.1093/aje/kwac108).
- Muzyka, A. A., Bahirov, S. R. (2023). *Kauzalnist i kryminalnyi zakon v aspekty pravovoho prahmatyzmu : monohrafiia* [Causality and criminal law in the aspect of legal pragmatism]. Kyiv. URI: <https://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/25290> [in Ukrainian].
- Nakhal Akel, A. J., Patriarca, R., Tronci, M., et al. (2022). A STAMP Model for Safety Analysis in Industrial Plants. *Chemical Engineering Transactions*. Vol. 91. DOI: [10.3303/cet2291068](https://doi.org/10.3303/cet2291068).
- Naser, M. Z. (2024). Causality and causal inference for engineers: Beyond correlation, regression, prediction and artificial intelligence. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*. Vol. 14. Is. 4. DOI: [10.1002/widm.1533](https://doi.org/10.1002/widm.1533).
- Naser, M. Z., Teymori Gharah Tapeh, A. (2023). Causality, causal discovery, causal inference and counterfactuals in civil engineering: Causal machine learning and case studies for knowledge discovery. *Computers and Concrete*. Vol. 31. No. 4. DOI: [10.12989/cac.2023.31.4.277](https://doi.org/10.12989/cac.2023.31.4.277).
- Shcherbakovskyi, M. H., Protsenko, A. M. (2024). *Eksperytyzy v sudovomu provadzhen-ni : monohrafiia* [Examinations in court proceedings]. Kharkiv. URI: <https://dspace.univd.edu.ua/handle/123456789/24257> [in Ukrainian].
- Soohoo, M., Arah, O. A. (2023). Investigation of the structure and magnitude of time-varying uncontrolled confounding in simulated cohort data analyzed using g-computation. *International Journal of Epidemiology*. Art. 52(6):1907-1913. DOI: [10.1093/ije/dyad150](https://doi.org/10.1093/ije/dyad150).
- Sun, H., Wang, H., Yang, M., Reniers, G. (2022). A STAMP-based approach to quantitative resilience assessment of chemical process systems. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 222. DOI: [10.1016/j.ress.2022.108397](https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108397).
- Zhang, F., Chen, L., Zhang, B., et al. (2024). An integrated system theoretic process analysis with multilevel flow modeling for the identification of cyber-physical hazards in a process industry. *Process Safety Progress*. Vol. 43. Is. 3. DOI: [10.1002/prs.12604](https://doi.org/10.1002/prs.12604).
- Zhang, Y., Dong, Ch., Guo, W., et al. (2022). Systems theoretic accident model and process (STAMP): A literature review. *Safety Science*. Vol. 152. DOI: [10.1016/j.ssci.2021.105596](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105596).
- Zhong, S., Du, J., Jiang, X. (2023). Analysis of energy laboratory safety management in China based on the System-Theoretic Accident Model and Processes/System Theoretic Process Analysis STAMP/STPA model. *Sustainability*. Vol. 15. No. 15. DOI: [10.3390/su151511505](https://doi.org/10.3390/su151511505).

Пугач, І. І., Чеберячко, Ю., Харченко, В., Пугач, І. Ю. (2026). Обмеження застосування методів каузального моделювання в судовій гірничотехнічній експертизі та шляхи їх подолання. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. Вип. 2 (43). С. 136—156. DOI: [10.32353/khrife.2.2026.09](https://doi.org/10.32353/khrife.2.2026.09).