

глобалізації: XXI Міжнар. наук.- практ. конф., 2017 р.- Переяслав-Хмельницький: ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький ДПУ ім. Григорія Сковороди», 2017 - № 21. – С. 784-787.

7. **Несмашний Е.А.** и др. Определение устойчивых параметров отвала № 2 ПАО «ИнГОК» на предельном контуре с учетом величины порового давления // *Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск*, №7, 2013, с. 72-75.

8. **Болотников А.В., Биленко А.Е., Ткаченко Г.И.** Определение возможности увеличения результирующих углов наклона бортов карьера, путем обратных расчетов прочностных свойств пород, на примере Глеватского карьера ПАО «ЦГОК» *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.* – 2015. - № 39.- С. 122-127.

9. **Nesmarshnyi E.** Calculating and rationalising the relativity norms for determining the slopes of quarry flanks. *Soviet mining journal.* -1987. -vol. 1, num. 3, -Oxonian Press, India. -p. 32-38.

10. **Nesmarshnij E.A., Tkachenko G.I.** Stability evaluation of jsc "YUGOK" eastern pit wall taking into account seismic mass blasting effect. *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.* - Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», - 2017.- № 44.- С.27-32.

11. **Несмашний Е.А., Болотников А.В., Ткаченко Г.И.** Методика и результаты оценки степени устойчивости внешних отвалов ИнГОКа на основе GPS-мониторинга их деформированного состояния. *Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників-2011».* ДНЗ «Національний гірничий університет». - 2011. - С. 143-149

12. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. А.Г.Шапаря // -К: - 2009. – 201с.

13. **Попов И.И., Окатов Р.П.** Борьба с оползнями на карьерах. -М.: Недра, 1980. - 238 с.

14. **Болотников А.В., Несмашний Е.А., Наминат А.С.** Прогнозирование и оценка состояния устойчивости бортов карьера №4, внешних и временных отвалов Артемовского месторождения. *Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць.* -Кривий Ріг: КТУ. - № 95. 2012. с.69-74.

15. **С.С. Серый, А.В. Дунаев.** Методика изучения структуры массива скальных пород для оценки устойчивости карьерных откосов // *Маркшейдерия и недропользование.* №4 (36), июль-август 2008. – с. 40-41.

16. Правила охраны труда при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. – Харьков: - 2010.

Рукопись постуила в редакцию 19.04.2018

УДК 331.452

Т.М. ТАЙРОВА, канд. хім. наук, ст. наук. співроб., К.Н. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.,
ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці», м. Київ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОХОРОНА ПРАЦІ

Мета. Метою даної роботи є побудова математичної моделі системи охорони праці, як підсистеми системи управління охороною праці, оцінювання ефективності її функціонування для формування науково-обґрунтованих заходів запобігання виробничому травматизму. Для досягнення поставленої мети сформовано показники оцінювання кожної підсистеми системи охорона праці. Оцінювання технічної, організаційної та санітарно-гігієнічної підсистем системи охорона праці проведено опосередковано шляхом декомпозиції створеної системи «роботодавець – працівник – робоче місце».

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань використовуються методи математичного моделювання систем.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність та наукову новизну роботи, адже дотепер наукові дослідження у зазначеному напрямку не проводились. Для комплексної оцінки ефективності функціонування системи охорона праці розроблено її математичну модель, яка дозволяє, визначати фактори, що найбільше впливають на ефективність її функціонування при їх сумісному впливі, та на основі отриманих оцінок розробляти управлінські рішення, спрямовані на запобігання виробничому травматизму.

Практична значимість. Розроблено оціночні показники для кожної підсистеми системи охорона праці, побудовано математичну модель системи охорона праці та отримано аналітичні залежності для оцінювання ефективності функціонування системи охорона праці від чинників внутрішнього та зовнішнього впливу. Отримані результати є достовірними, оскільки використовувалися аналітичні методи, офіційні та фактичні статистичні дані. Встановлено залежність ефективності функціонування системи охорона праці від множини чинників зовнішнього і внутрішнього середовища, що дозволило сформувати найбільш пріоритетні науково-обґрунтовані управлінські рішення, спрямовані на підвищення ефективності функціонування СУОП та запобігання виробничому травматизму.

Результати. Докладно розглянуто структуру системи охорона праці та досліджено вплив на ефективність її функціонування зовнішніх і внутрішніх факторів, що призводять до настання нещасних випадків на виробництві, що дає можливість уніфікувати і регламентувати порядок розроблення науково-обґрунтованих управлінських рішень

Ключові слова: система охорона праці, чинники зовнішнього і внутрішнього середовища, математична модель, виробничий травматизм, моделювання.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-25-32

© Тайрова Т.М., Ткачук К.Н., 2018

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. За рівнем виробничого травматизму Україна займає одне з перших місць серед країн Європи, незважаючи на постійне щорічне зниження його рівня протягом останніх 20 років. Порівняльний аналіз показників виробничого травматизму в Україні та світі свідчить про те, що в Україні рівень смертельного травматизму вище ніж у країнах Європейського Союзу в 1,3–2,5 рази, США – у 2 рази в розрахунку на 100 тис. працівників (за даними Міжнародної організації праці). За останні 4 роки на виробництвах України загинуло майже 1700 працівників і понад 19 000 тис. було травмовано. Оцінювання травматизму за методикою МОП свідчить про те, що в Україні на 1 смертельний випадок припадає в середньому 11 травмованих осіб, а у 2016 році це співвідношення досягло найнижчого значення за останні 25 років і становило 1 : 10,5. У той же час у європейських країнах цей показник становить – 600...1200 травмованих. У зв'язку з цим проблема виробничого травматизму в Україні як одна з найактуальніших, на сучасному етапі набуває особливого значення і потребує системного підходу до вивчення ефективності функціонування системи охорони праці з урахуванням впливу виробничих, соціально-економічних, правових організаційно-технічних та інших чинників [1].

Незважаючи на соціально-економічні орієнтири розвитку країни і курс на ЄС, в країні досі не створено сприятливі умови для забезпечення добробуту людини, збереження її життя і здоров'я. Узагальнення наукових досліджень з питань охорони праці свідчать про наявність проблемних питань у сфері охорони праці, основними з яких є :

- неефективність системи управління охороною праці на всіх рівнях. Роботодавці не у повній мірі дотримуються вимог ст. 13 Закону України «Про охорону праці» щодо створення на кожному робочому місці належних умов праці відповідно до нормативно-правових актів та забезпечення додержання вимог законодавства відносно прав працівників у галузі охорони праці;

- недостатній рівень технологічної та трудової дисципліни, організації виконання робіт і професійної підготовки працівників;

- високий рівень зношеності технологічного обладнання та низький рівень модернізації виробництва, відсутність статистичних даних щодо реального оцінювання його стану;

- приховування від розслідування частини нещасних випадків на виробництві;

- високий рівень виробничого травматизму порівняно з європейськими країнами;

- низький рівень відповідальності роботодавця за порушення нормативно-правових актів з охорони праці;

- відсутність в країні методології комплексного і системного підходу до вивчення проблемних питань з охорони праці з метою розроблення заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму.

Значні економічні наслідки нещасних випадків на виробництві, які, в основному, викликані ушкодженням здоров'я або смертю працівника, а також супутніми виробничими витратами та пов'язані із зниженням рівня продуктивності праці, медичними та юридичними витратами тощо, викликають стурбованість громадськості, науковців, підприємців. За узагальненою модельною оцінкою МОП кожна розвинена країна світу щорічно втрачає в результаті нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань більше ніж 4 % свого ВВП. Мінімальний обсяг втрат від виробничого травматизму та профзахворюваності в Україні, визначений за вищезазначеною модельною оцінкою МОП за показниками ВВП 2014–2016 рр., в середньому становив щонайменше 4 млрд грн. щорічно. Одним із пріоритетних завдань у галузі охорони праці є розроблення наукових засад запобігання виробничому травматизму.

Аналіз досліджень і публікацій. Для ефективного пошуку шляхів зниження рівня виробничого травматизму і розроблення інструментарію прийняття управлінських рішень як на рівні підприємства, так і на рівні держави ведуться дослідження, спрямовані на визначення впливу на рівень виробничого травматизму шкідливих та небезпечних чинників, державного управління з охорони праці, стану нормативно-правового забезпечення. Значна увага фахівців приділяється аналізу проблем та перспективам поліпшення функціонування системного менеджменту з охорони праці на підприємствах країни, тобто проблемі удосконалення системи управління охороною праці. Зазначені питання знайшло відображення у роботах таких авторів як Г.Г. Гогіташвілі [1], Г.Г. Лесенко [2]. Першими науковими здобутками, спрямованими на визначення закономірностей опосередкованого впливу чинників зовнішнього середовища на ризик травмування, зокрема соціально-економічним та правовим, для трансформування отриманих оцінок у

ефективні профілактичні заходи, були роботи А.О. Водяника [3], Г. Г. Дегтяренка [4] та ін. А.О. Водяником було розроблено методологію аналізу причин та чинників, що впливають на ризик травмування, яка полягала у комплексному врахуванні та кількісному оцінюванні впливу на рівень травматизму характеристик виробництва, соціальних чинників, стану забезпеченості потреб охорони праці ресурсами, а також безпосередніх технічних і організаційних причин травматизму. Питання оцінювання чинників зовнішнього середовища, зокрема впливу наглядової діяльності з охорони праці на рівень виробничого травматизму знайшли відображення у наукових публікаціях А.С. Єсипенка [5, 6], О.Є. Кружилка [7, 8], В.В. Майстренка [9], в яких автори визначали підходи до вирішення проблеми запобігання виробничому травматизму, акцентуючи увагу на необхідності підвищення ефективності наглядової діяльності шляхом удосконалення інформаційно-методичного забезпечення державного нагляду у сфері охорони праці та застосування математичного моделювання показників виробничого травматизму для отримання прогностичних оцінок його рівня та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Відаючи належне науковим напрацюванням з цієї проблематики, слід зауважити, що дослідження проводились у декількох окремих напрямках, які перш за все стосувались вузьких питань конкретного підприємства, технологічного процесу або обладнання, що мало конструктивні недоліки або морально застаріло, вичерпало передбачений паспорт ресурс, але до цього часу ще експлуатується. При цьому спроби вирішити проблемні питання технічного та організаційного спрямування не давали бажаних суттєвих результатів, оскільки всі вони були спрямовані на подолання проблемних питань охорони праці на конкретному підприємстві, в одній окремо взятій галузі, а їх результати практично не позначались на рівні виробничого травматизму в країні в цілому.

Потрібно зазначити, що реальні можливості підготовки, прийняття та реалізації управлінських рішень, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, як на рівні підприємства, галузі, так і на рівні країни, можуть бути реалізовані тільки при системному підході до дослідження системи управління охороною праці та комплексному і об'єктивному аналізі чинників зовнішнього і внутрішнього середовища, що впливають на ефективність функціонування її підсистем, зокрема системи охорона праці. В контексті зазначеного актуальною науковою задачею є створення математичної моделі системи охорона праці, результати якої мають бути покладено в основу розроблення наукових засад запобігання виробничому травматизму. До речі, огляд наукових джерел свідчить не тільки про відсутність оцінювання ефективності охорони праці як цілісного утворення, що складається з окремих підсистем та елементів, а і про те, що навіть можливість такого оцінювання не припускалась.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є розроблення математичної моделі системи охорона праці, оцінювання ефективності її функціонування та формування науково обґрунтованих заходів запобігання виробничому травматизму.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

визначити теоретичні і методичні положення дослідження охорони праці як складної динамічної системи, виявити проблеми її розвитку та сформулювати показники її оцінювання, враховуючи наявну кількісну інформацію про чинники зовнішнього та внутрішнього середовища;

виявити закономірності впливу чинників зовнішнього і внутрішнього середовища на функціонування системи охорона праці;

розробити методологію та показники оцінювання чинників внутрішнього середовища системи охорона праці (технічного та організаційного) для урахування їх у математичній моделі системи охорона праці;

виявити закономірності впливу чинників зовнішнього і внутрішнього середовища на функціонування системи охорона праці;

побудувати математичну модель системи охорона праці, яка встановлює аналітичні залежності функціонування системи охорона праці від показників, що характеризують чинники зовнішнього і внутрішнього середовища для найбільш травмонезбезпечних видів економічної діяльності та для країни;

сформулювати науково-обґрунтовані заходи запобігання виробничому травматизму на основі результатів оцінювання функціонування системи охорона праці та оцінити їх ефективність.

Викладення основного матеріалу дослідження. Система управління охороною (СУОП) праці є складовою частиною загальної системи управління на будь-якому рівні управління та

являє собою упорядковану сукупність підсистем (елементів), між якими існує закономірний зв'язок і взаємодія. СУОП як і будь-яка система управління передбачає наявність як керованої системи – об'єкта управління, тобто системи охорона праці, так і суб'єкта управління – керуючої системи, що має забезпечувати нормальний режим роботи підсистем об'єкта управління в умовах впливу зовнішнього середовища. Керуючими параметрами системи є такі характеристики системи, які за необхідності можна змінити як за величиною, так і за напрямком зв'язку зовнішніх впливів стосовно досліджуваної системи. У загальному випадку для кожного стану системи керуючі параметри будуть різними. Керована система у взаємодії з керуючою утворює замкнену систему управління охороною праці. Узагальнену блок-схему СУОП наведено на рис. 1.

Чинники, що впливають на ефективність функціонування системи охорона праці, поділяються на дві групи: чинники внутрішнього та зовнішнього середовища. Чинники внутрішнього середовища являють собою сукупність технічних об'єктів (машини, механізми, технологічні процеси) підприємства, галузі промисловості та рівень їх відповідності нормативним актам з охорони праці, а також сфери людської діяльності, як рівень дотримання працівниками нормативних актів з охорони праці, та в цілому характеризують стан забезпечення охорони праці на

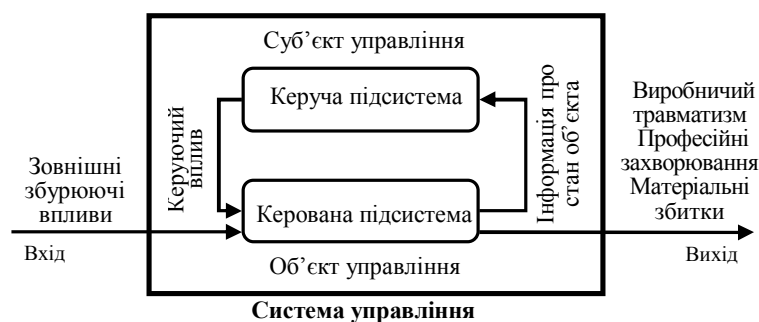


Рис. 1. Узагальнена блок-схема СУОП

кожному робочому місці, у тому числі й рівень створення здорових і безпечних умов праці тощо. За відсутності зовнішніх збурюючих впливів система охорона праці зберігає свій стан певний період часу, а під їх впливом – змінює свій стан.

Чинники зовнішнього середовища прямої дії безпосередньо впливають на ефективність функціонування системи охорона

на праці, а непрямої дії, змінюючись, порушують баланс зовнішнього середовища СУОП, що відбивається на ефективності функціонування системи охорона праці. У разі, якщо спостерігаються зміни стану системи, виникає потреба у її стабілізації, для чого застосовуються корегувальні заходи, спрямовані на зміну тих параметрів системи, які можна змінювати (керуючі параметри). Для того, щоб управляти системою охорона праці потрібно володіти інформацією щодо тих параметрів системи охорона праці, які можна змінювати, тому для прийняття обґрунтованих управлінських рішень виникає потреба у кількісному оцінюванні системи охорона праці. Проте до цього часу наукові дослідження у цьому напрямі не проводились.

Теоретичні дослідження системи охорона праці передбачають її вивчення з позицій системного підходу (при якому кожен елемент системи розглядається у взаємозв'язку з іншими елементами), що дозволяє спостерігати зміни в системі внаслідок змін окремих її підсистем. Система охорона праці залежно від мети оцінювання характеризується множиною вхідних і вихідних даних. Комплексне аналітичне оцінювання ефективності функціонування системи охорона праці являє собою результат взаємодії всіх елементів системи та характеризується системою показників, що відображають основні аспекти її функціонування. Такими показниками є показники виробничого травматизму, професійних захворювань та показників матеріальних втрат. Оскільки показники професійної захворюваності та матеріальних втрат характеризують систему за період, відтермінований у часі, вони не можуть слугувати оціночними показниками для прийняття управлінських рішень, тому для оцінювання системи охорона праці, використовували тільки показники виробничого травматизму. Множиною вихідних змінних, за якими оцінюється функціонування системи охорона праці є аналітичні показники виробничого травматизму, а саме коефіцієнт частоти ($K_{\text{ч}}$) (1), коефіцієнт тяжкості виробничого травматизму (2), коефіцієнт частоти смертельного травматизму ($K_{\text{чс}}$) (3) та коефіцієнт МОП ($K_{\text{МОП}}$) (4).

$$K_{\text{ч}} = T_3 \times 1000 / \text{Ч}, \quad (1)$$

$$K_{\text{чс}} = T_c \times 1000 / \text{Ч}, \quad (2)$$

$$K_m = D / T_3, \quad (3)$$

$$K_{\text{МОП}} = T_3 / T_c, \quad (4)$$

де T_z – загальна кількість травмованих; T_c – загальна кількість загиблих, $Ч$ – загальна чисельність працюючих; $K_{МОП}$ – коефіцієнт МОП характеризує рівень достовірності обліку виробничого травматизму в країні та показує кількість травмованих, що припадає на 1 випадок травматизму із смертельним наслідком за звітний період у галузі або в країні.

Для оцінювання ефективності функціонування охорони праці, як складної динамічної системи, виконано модельні дослідження, які реалізовано шляхом побудови математичної моделі системи охорона праці, що дозволять встановити взаємозв'язок у часі між узагальненими показниками, які інтегрально характеризують кожну підсистему системи охорона праці: економічну (E), правову (P), технічну (T) та організаційну (O), та санітарно-гігієнічну (G) або їх сукупність.

Структурну схему системи управління охороною праці наведено на рис. 2. У процесі функціонування на керовану систему – систему охорона праці впливають чинники зовнішнього середовища, зокрема економічний та правовий, під впливом яких відбуваються зміни у функціонуванні системи охорона праці, що відображається на кінцевих результатах функціонування системи, зокрема на рівні виробничого травматизму. Таким чином, вхідними змінними системи охорона праці є:



Рис. 2. Структурна схема системи управління охороною праці

множина змінних, що характеризує правову підсистему, як стан нормативно-правового забезпечення з охорони праці та рівень його дотримання роботодавцем і працівником, та як державне управління охороною праці, тобто наглядову діяльність з охорони праці (P);

множина змінних, що характеризує економічну підсистему як стан економічного розвитку галузі або країни за певний часовий період (E).

Внутрішніми змінними системи охорона праці є:

множина змінних, що характеризує технічну підсистему системи охорона праці (T);

множина змінних, що характеризує організаційну підсистему системи охорона праці (O);

множина змінних, що характеризує санітарно-гігієнічну підсистему системи охорона праці (G).

Розглядаючи систему охорона праці як складну динамічну систему, яка неперервно змінюється у часі, виконано модельні дослідження для чого використано апарат диференціального числення. Функції f побудовано на основі аналізу і синтезу усіх існуючих прямих та зворотніх зв'язків, які в основному використовуються для моделювання прикладних завдань неперервних у часі. Встановлено зв'язок у часі між узагальненими показниками, що інтегрально характеризують кожну підсистему системи охорона праці.

Структуру основних рівнянь моделі системи охорона праці представлено у вигляді диференціальних рівнянь її підсистем (5)-(9)

$$dE/dt = f(E, P, T, O, G, t); \quad (5)$$

$$dP/dt = f(E, P, T, O, G, t); \quad (6)$$

$$dT/dt = f(E, P, T, O, G, t); \quad (7)$$

$$dO/dt = f(E, P, T, O, G, t); \quad (8)$$

$$dG/dt = f(E, P, T, O, G, t). \quad (9)$$

Для опису системи охорона праці з урахуванням моделей її підсистем запропоновано такий варіант її опису

$$dE/dt = a \cdot E + b \cdot E \cdot (T + O + G) + c \cdot E \cdot P; \quad (10)$$

$$dP/dt = j \cdot P + k \cdot P \cdot (T + O + G) + n \cdot E \cdot P; \quad (11)$$

$$d(T + O + G)/dt = h \cdot (T + O + G) + g \cdot E \cdot (T + O + G) + l \cdot P \cdot (T + O + G). \quad (12)$$

Узагальнений опис системи охорона праці з урахуванням її підсистем представлено у такому вигляді

$$dS/dt = a \cdot E + j \cdot P + (b \cdot E + k \cdot P + h + g \cdot E + l \cdot P) \cdot (T + O + G) + (c + n) \cdot E \cdot P. \quad (13)$$

Для кількісного оцінювання ефективності функціонування системи охорона праці визначено найбільш впливові, узагальнені або агреговані показники, що характеризують кожну її підсистему.

Економічний чинник, як чинник зовнішнього середовища, характеризується множиною змінних, з яких першорядне значення мають агреговані показники, тобто ті, що характеризують стан і розвиток економіки країни як єдиного цілого, і основним із них є валовий внутрішній продукт (ВВП). Економічний стан розвитку галузей оцінюється індексом виробленої продукції. Щорічні зміни економічної та політичної ситуації в країні відображаються на ефективності роботи підприємств та відповідно на ефективності функціонування системи охорона праці та рівні виробничого травматизму. Цим пояснюється доцільність включення узагальненого економічного показника до математичної моделі системи охорони праці.

Правовий чинник, як чинник зовнішнього впливу, характеризується станом нормативно-правового забезпечення та рівнем державного управління охороною праці – наглядом діяльність з охорони праці, яка безпосередньо впливає на ефективність функціонування системи охорона праці. Для виділення із множини показників наглядової діяльності з охорони праці тих, що мають найбільший вплив на рівень виробничого травматизму, використано метод кореляційно-регресійного аналізу, за результатами якого визначено тісноту та направленість зв'язку між ознаками за коефіцієнтами парної кореляції. За результатами проведеного аналізу для найбільш травмонебезпечних видів економічної діяльності за значеннями та направленістю коефіцієнтів парної кореляції (з від'ємними знаком) виокремлено найбільш впливові показники наглядової діяльності.

Для кількісного оцінювання чинників внутрішнього середовища системи охорона праці, тобто технічного (*T*), організаційного (*O*) та санітарно-гігієнічного (*G*), які характеризують стан умов та безпеки праці на робочому місці запропоновано підсистему «роботодавець–працівник–робоче місце» (*РРР*) та методику оцінювання кожної її підсистеми. Методика визначає порядок трансформації даних щодо травмованих за причинами нещасних випадків у показники кількісного оцінювання рівня дотримання роботодавцем і працівником законодавчих та інших нормативно-правових актів з охорони праці, що аргументовано такими положеннями:

система охорона праці включає суб'єктів соціально-трудових відносин: працівника (потенційну жертву) і роботодавця як особу, яка відповідає за безпечні умови праці (технологічний процес, виробниче середовище та виробниче обладнання);

виробнича діяльність працівника проходить у певному навколишньому середовищі (виробниче середовище безпосередньо на робочому місці – внутрішнє, навколишнє середовище за межами робочого місця – зовнішнє);

всі елементи системи РРР є імовірнісними джерелами небезпечних ситуацій (НС) – що відбуваються як діями або бездіяльністю працівника, так і роботодавця, та які можуть призводити до настання нещасного випадку на виробництві.

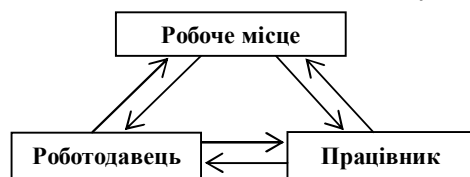


Рис. 3. Структурна схема-модель системи «роботодавець–працівник–робоче місце»

безпечні умови праці для працівника;

недопущення появи або зменшення до допустимих меж дії вражаючих, небезпечних і шкідливих чинників, які призводять до втрати працездатності і погіршення здоров'я працівника;

додержання роботодавцем вимог Закону України «Про охорону праці» щодо створення безпечних умов праці;

додержання працівником і роботодавцем вимог Закону України «Про охорону праці» щодо трудової і виробничої дисципліни та статей 139,141 Кодексу Законів про працю.

Показниками, за якими проведено оцінювання системи «роботодавець–працівник–робоче місце», визначено на основі аналізу причин настання нещасних випадків на виробництві (14) - (17)

$$P_R = \sum_{i=1}^8 P_{Ri} + \sum_{i=9}^{15} P_{Ri} \quad (14)$$

$$K_R = \sum_{i=1}^n P_R / \sum n, \quad (15)$$

$$P_P = \sum_{i=19}^{23} P_{P_i}, \quad (16)$$

$$K_P = \sum_{i=1}^n P_P / \sum n, \quad (17)$$

де K_R – коефіцієнт, що характеризує технічний і організаційний чинники системи охорона праці, через рівень недотримання роботодавцем вимог нормативних актів з охорони праці технічного і організаційного характеру, що призвело до нещасного випадку; K_P – коефіцієнт, що характеризує організаційний чинник системи охорона праці, через рівень недотримання працівником вимог нормативних актів з охорони праці організаційного характеру, що призвело до нещасного випадку; P_{P_i} – кількість потерпілих в нещасних випадках на виробництві в країні або окремій галузі за досліджуваний період через недотримання працівником нормативних актів з охорони праці (причина №19 відповідно до переліку причин визначених Класифікатором причин настання нещасних випадків на виробництві) [11], n – період дослідження, рік.

Показники, що сформовано для оцінювання зазначених підсистеми є узагальненими, агрегованими або найбільш впливовими. З урахуванням вищезазначеного модель системи охорона праці має такий вид опису

$$dS/dt = a \cdot E + j \cdot P + (b \cdot E + k \cdot P + h + g \cdot E + l \cdot P) \cdot K_R + (c + n) \cdot E \cdot P. \quad (18)$$

Під впливом зовнішніх збурюючих чинників система охорона праці (керована система) змінює свій стан, який характеризується зростанням або зниження рівня виробничого травматизму, інформація щодо якого надходить до керуючої системи. Керуюча система впливає на керовану (об'єкт управління) через зворотній зв'язок. Вхідним сигналом для зворотнього зв'язку є вихідний сигнал керованої системи Y .

Управління системою охорони праці є ефективним, якщо забезпечується найнижчий рівень виробничого травматизму, тому у разі зростання рівня виробничого травматизму має бути прийнято управлінське рішення спрямоване на підвищення ефективності функціонування системи охорона праці, яке з погляду прийнятої умови, саме і спрямовано на зниження рівня виробничого травматизму (критерій оптимальності) у тих межах, в яких система функціонує. Моделювати систему охорони праці можна з використання системи диференціальних рівнянь, у яких неперервною змінною є час, та які відображають не лише залежність змінних від часу, а й їх взаємозв'язок у часі. Однак статистичні дані, які використано для розв'язування даної задачі, дискретні і належать до конкретних одиниць часу, тому для розв'язання використано апарат різницевих рівнянь, а модель системи охорона праці представлено у такому вигляді

$$y_i^{t+1} = y_i^t + a_{i1}(x_{i1}^{t-z} - x_{i1}^{t-z-1}) + a_{i2}(x_{i2}^{t-z} - x_{i2}^{t-z-1}) + a_{i3}(x_{i3}^{t-z} - x_{i3}^{t-z-1}) + a_{ij} \Delta t, \quad (19)$$

де x_{i1} – узагальнений показник, що характеризує економічну складову системи, x_{i2} – агрегований показник, що характеризує технічну, організаційну та санітарно-гігієнічну складову системи; x_{i3} – найбільш впливовий правовий показник, як рівень наглядової діяльності з охорони праці.

Висновки та напрям подальших досліджень. В процесі математичного моделювання системи охорона праці розроблено оціночні показники для кожної підсистеми системи охорона праці, побудовано математичну модель системи охорона праці та отримано аналітичні залежності для оцінювання ефективності функціонування системи охорона праці від чинників внутрішнього та зовнішнього впливу для травмонебезпечних галузей. Отримані результати є достовірними, оскільки використовувалися аналітичні методи, офіційні та фактичні статистичні дані. Подальші дослідження планується проводити у напрямі розроблення математичної моделі системи охорона праці на державному рівні.

Список літератури

1. Гогіташвілі Г. Г., Карчевські Є. Т., Лапін В. М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами : навч. посіб. К. : Знання, 2007. 367 с.
2. Лесенко Г. Г., Цибульська О. В., Неподзьєв С. В. До питання оцінки ефективності функціонування системи управління охороною праці на підприємстві // Проблеми охорони праці в Україні. К. : ННДІПБОП, 2011. Вип. 20. С. 129–139.
3. Водяник А. О., Ткачук К. Н. Дослідження впливу на причини виробничого травматизму факторів зовнішнього середовища // Містобудування та територіальне планування. 2005. Вип. 20. С. 50–58.
4. Дегтяренко Г. Є., Водяник А. О., Чуркін В. В., Теличко К. Е. Динаміка травматизму в Україні в умовах змінювання обсягів виробництва // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. – Київ : ННДІОП, 2001. Вип. 4. С. 24–29.

5. Єсипенко А. С., Таїрова Т. М., Сліпачук О. А. Оцінка стану і проблеми промислової безпеки та охорони праці в ризиконебезпечних галузях економіки України. Серія «Вугледобувна галузь». К. : 2014. 64 с.
6. Єсипенко А. С., Романенко Н. В., Сліпачук О. А. Дослідження характеру впливу наглядової діяльності за охороною праці на стан виробничої безпеки // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. Київ : ННДІОП, 2008. Вип. 15. С. 9–17.
7. Кружилко О. Є. Експериментальне дослідження впливу показників наглядової діяльності на стан охорони праці підприємств // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. Київ : ННДІОП, 2008. Вип. 15. С. 3–8.
8. Кружилко О. Є., Кириченко Ю. А., Демчук Г. В., Полукаров О. І., Сукач С. В. Математичне моделювання коефіцієнта важкості виробничого травматизму на підприємствах вугільної промисловості // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. Київ : ДУ «ННДІОП», 2013, Вип. 25. С. 67–72.
9. Кружилко О. Є., Ткачук К. Н., Полукаров О. І. Побудова та дослідження математичної моделі коефіцієнта тяжкості виробничого травматизму на підприємствах вугільної промисловості // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. Київ : ДУ «ННДІОП», 2012. Вип. 22. С. 27–31.
10. Майстренко В. В., Кружилко О. Є. Особливості створення інформаційно-аналітичної системи та аналізу наглядової діяльності на основі матеріалів перевірок // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. К. : ДУ «ННДІОП», 2013. Вип. 25. С. 59–66.
11. Порядок проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві. Постанова Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2011 р. N 1232.
Рукопис подано до редакції 13.04.2018

УДК 624.03

С.В. КОЛЕСНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЙ ДЕФЕКТІВ ТА ПОШКОДЖЕНЬ СТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

Мета. Метою даної роботи є визначення терміну «обстеження», модернізація класифікації дефектів і пошкоджень з позиції подальших розрахунків за граничними станами, впровадження у електронні бази даних для створення прогнозних моделей, розширення їх переліку для конструкцій, що експлуатуються під впливом динамічних навантажень. Також, одним із завдань публікації є визначення кількісних показників дефектів та пошкоджень для кожної з груп небезпеки.

Методи дослідження. Для розширення номенклатури недосконалостей сталевих конструкцій використовуються теоретичні методи розрахунків будівельної механіки для визначення граничних станів конструкцій. Чисельні показники визначено на підставі експериментальних досліджень, що базуються на тензометричних методах неруйнівного контролю.

Наукова новизна. Визначення нової класифікації дефектів та пошкоджень сталевих конструкцій надано вперше. Розвинута номенклатура недосконалостей для конструкцій, що знаходяться під дією динамічних навантажень. Запропоновано нове індексування дефектів та пошкоджень, що дозволяє безпосередньо визначати вагу недосконалості за граничними станами. Запропоновано виконувати оцінку технічного стану на підставі розрахунків залишкового ресурсу.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють доповнити існуючі будівельні норми, що стосуються обстеження та паспортизації будівель і споруд для визначення їхнього технічного стану. Надана нова класифікація та кількісні значення дефектів і пошкоджень з позиції визначення залишкового ресурсу, розробки прогнозних (деградаційних) моделей подальшої експлуатації сталевих конструкцій.

Результати. Запропоновано нову класифікацію дефектів та пошкоджень для сталевих конструкцій, що дозволяє безпосередньо оцінювати вагу кожної недосконалості – категорювання за кількісними значеннями для трьох категорій та розподілення їх на ресурсні та діагностичні типи. Введено нові типи дефектів, що суттєво збільшують коефіцієнти концентрації напружень вузлів конструкцій під дією динамічних навантажень. Наведена нова класифікація дозволяє впроваджувати недосконалості у електронних системах обліку конструкцій – базах даних.

Ключові слова: залишковий ресурс, дефекти, пошкодження, граничний стан, технічний стан, обстеження, будівлі, споруди.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-32-38

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В Україні існує значний фонд сталевих конструкцій, що використовується у будівлях і спорудах. За різними оцінками [1, 2] наразі налічується від 36 до 65 млн.т. Основу фонду металевих конструкцій України складають конструкції промислових будинків. Загальна маса цих конструкцій приблизно 50% загальної маси металевих конструкцій, що експлуатуються сьогодні. За даними на 2002 рік,